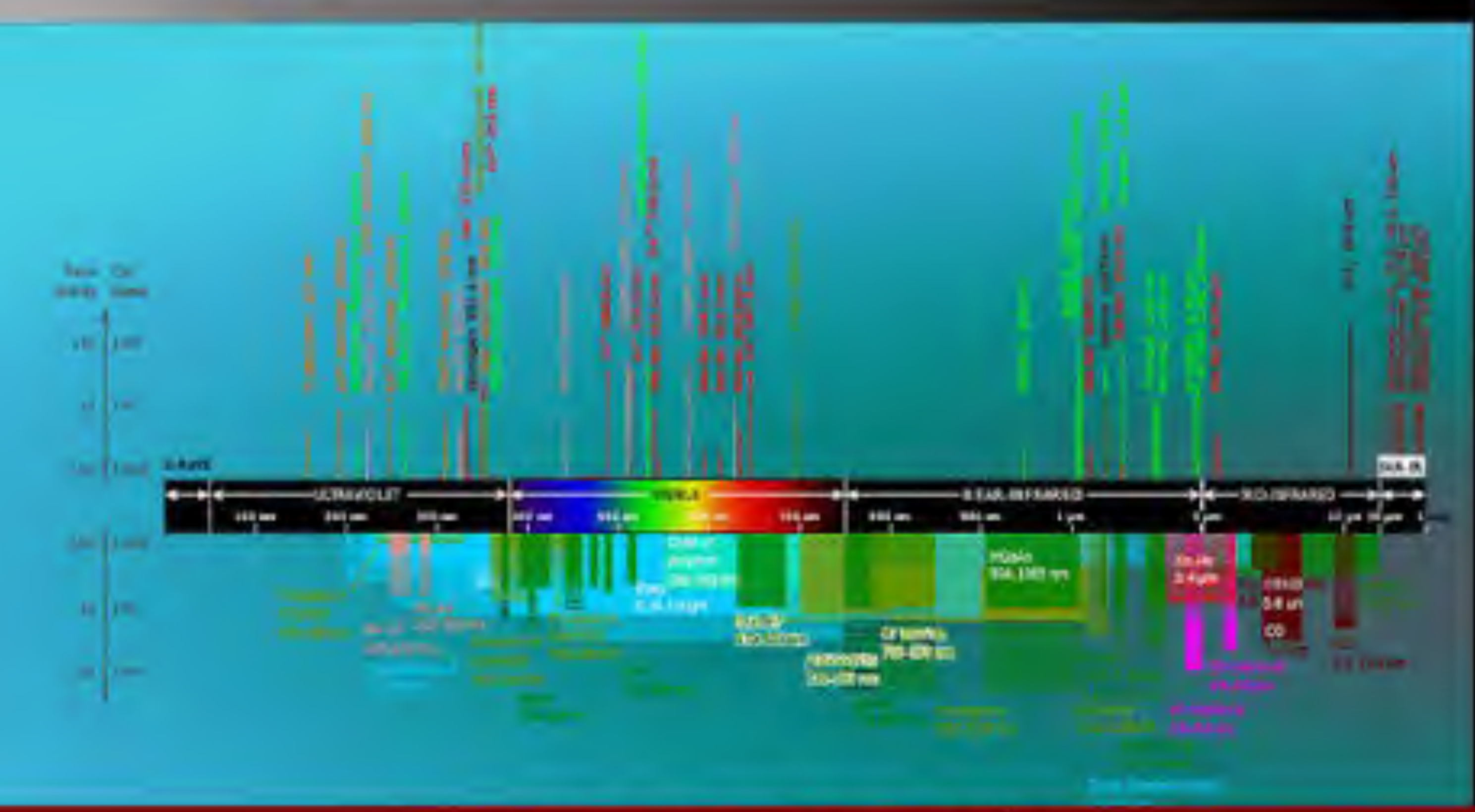
المبادئ الأساسية
للألياف البصرية



د. أحمد ناجي الجمل

المبادئ الأساسية

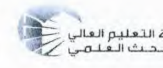
للألياف البصرية

Basic Principles of Optical Fibers

الدكتور أحمد ناجي الجمل

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
لجنة عمداء كليات الهندسة





Ministry of Higher Education & Scientific Research
Deans of Collage of Engineering Comittee

العـدد : ٤١
التاريخ : ٢٠١٨/٥/٧

الى / وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جهاز الاشراف والتقويم العلمي
قسم التقويم العلمي

م/ احالة

تحية طيبة
كتابكم المرقم ج ع/ م ل/661 في 2018/2/25 بشأن بيان الرأيعن الكتاب الموسوم (المبادئ الاساسية للالياف البصرية) للمؤلف (م.د. احمد ناجي حسين)/كلية المستقبل الجامعة .
تم مناقشة الموضوع في اجتماع الجلسة الثالثة للجنة عمداء كليات الهندسة للعام الدراسي 2017-2018 والمنعقدة في 2018/4/5 الفقرة (رابعا) والمرفقة طيا.
تم ارسال محضر الجلسة الثالثة الى جهاز الاشراف والتقويم العلمي بموجب كتابنا المرقم 36 في 2018/4/19 بالامكان اعتماد الكتاب الموسوم (المبادئ الاساسية للالياف البصرية) ككتاب مساعد .

مع التقدير........

المرفقات
- الفقرة رابعا من محضر الجلسة الثالثة المنعقدة في 5 /2018/4

أ.د. رياض حسن الانباري
رئيس لجنة عمداء كليات الهندسة
عميد كلية دجلة الجامعة

نسخه منه الى /
- كلية المستقبل الجامعة / للتفضل الاطلاع مع التقدير
- ملف اللجنة / 2017-2018
الايميل الخاص باللجنة : E-mail: Deanseng.committee @ yahoo.com

الجامعة التكنولوجية - ص.ب (١٨٣١٠) بغداد - العراق
University of Technology - Baghdad - Iraq P.O.Box (18310)
الجامعة التكنولوجية



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جهاز الإشراف والتقويم العلمي
قسم التقويم العلمي

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education & Scientific Research

العدد: ج ع م ل/٣٥٤٦
التاريخ: ٢٠١٧/١٢/٢٧

الجامعة التكنولوجية / السيد رئيس قسم هندسة البناء والانشاءات المحترم
رئيس لجنة عمداء كليات الهندسة

م/ احالة

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته...
نرفق لكم طيا مذكرة دائرة البحث والتطوير المرقمة ب ت م٣/٨٤٦٣ في ٢٠١٧/١٢/١٢ ومرفقها كتاب كلية المستقبل الجامعة المرقم ٢١٩٨/٢٧/٧ في ٢٠١٧/١١/٢١ المتضمن نسخة ورقية من الكتاب الموسوم (المبادئ الأساسية للألياف البصرية) للمؤلف م.د. احمد ناجي حسين. راجين بيان الرأي بشأن اعتماده ككتاب منهجي في الأقسام الهندسية.
... مع التقدير.

المرفقات:
- نسخة من الأوليات أعلاه + الكتاب

أ.م.د. ذوالفقار علي رسن
معاون رئيس الجهاز للشؤون الادارية
٢٠١٧/١٢/٢٧

نسخة منه الى//
- دائرة البحث والتطوير/ مكتب المدير العام، إشارة الى مذكرتكم اعلاه، للتفضل بالاطلاع .. مع التقدير.
- دائرة التعليم الجامعي الاهلي، للتفضل بالاطلاع.. مع التقدير.
- مكتب رئيس جهاز الإشراف والتقويم العلمي، للتفضل بالاطلاع.. مع التقدير.
- جهاز الإشراف والتقويم العلمي/ قسم التقويم العلمي/ (شعبة المحاضر) مع الأوليات.
- الصادرة.

مهند

escientific@mohesr.gov.iq
البريد الالكتروني لشعبة المحاضر Advisory.committee@mohesr.gov.iq

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جـامعة ديالى
كلية الهندسة
مكتب العميد

Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Diyala
Engineering College

العـدد : ٢٧
التاريخ : ٢٠١٨/١/١٦
No. :
Date :

إلى/ السيد رئيس لجنة عمداء كليات الهندسة المحترم - قسم هندسة البناء والإنشاءات - الجامعة التكنولوجية
م / احالة

تحية طيبة....
إشارة الى كتاب وزارة التعليم العالي والبحث العلمي / جهاز الاشراف والتقويم العلمي / قسم التقويم العلمي ذي العدد (ج ع/م ل/٣٥٤٦) في ٢٠١٧/١٢/٢٧ ، نود اعلامكم باننا نؤيد اعتماد الكتاب المذكور في كتاب الوزارة اعلاه ككتاب منهجي في الاقسام الهندسية.
للتفضل بالاطلاع .... مع التقدير

أ.د. عبد المنعم عباس كريم
العميد وكالة
٢٠١٨/١/١٥

العراق - ديالى - بعقوبة
Iraq - Diyala - Baquba
dean.eng@engineering.uodiyala.edu.iq



بسم الله الرحمن الرحيم
جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
دائرة البحث والتطوير

ب ت م ٣ / 8463
2017/12/12
مذكرة داخلية

جهاز الاشراف والتقويم العلمي/ قسم التقويم العلمي/ شعبة لجان العمداء

م/ تأليف كتاب

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته ...
نحيل إليكم كتاب كلية المستقبل الجامعة، العراق/ بابل، ذي العدد٢١٩٨/٢٧/٧في ٢٠١٧/١١/٢١، المتضمن إحالة كتاب موسوم بـ (المبادئ الاساسية للألياف البصرية) للمؤلف م.د أحمد ناجي حسين الجمل، التدريسي في الكلية المذكورة آنفا، ونرى اعتماد رأي لجان العمداء؛ لعدم وجود لجنة في الاختصاص المذكور آنفاً وسيتم أبلاغكم في حال تشكيل لجنة مختصة به.
مع التقدير..

أ. د. هناء عبد الحسين محيميد
معاون المدير العام لدائرة البحث والتطوير
٢٠١٧/١٢/٢٨

المرفقات
- نسخة من الكتاب المذكور آنفا.

نسخة منه الى //
- كلية المستقبل الجامعة/ العراق/ بابل، إشارة الى كتابكم ذي العدد٢١٩٨/٢٧/٧في ٢٠١٧/١١/٢١، للتفضل بالعلم مع التقدير.
- دائرة البحث والتطوير/ قسم تطوير وتحديث المناهج / مع الأوليات.
- الصادرة.

م. نادية عبد الرضا ١٢/٥

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي - دائرة البحث والتطوير - القصر الأبيض - المجمع التربوي - الطابق السادس
www.rdd.edu.iq curricula@rdd.edu.iq قسم تطوير المناهج الدراسية

المبادئ الأساسية

للألياف البصرية

Basic Principles of Optical Fibers

هوية الكتاب:

اسم الكتاب:

المبادئ الأساسية للألياف البصرية

Basic Principles of Optical Fibers

المؤلف: الدكتور أحمد ناجي الجمل

المطبعة : دار الامين – بغداد

الطبعة: الثالثة -2021

الطبعة: الثانية - 2019

الطبعة: الأولى - 2017

رقم الإيداع في دار الكتب والوثائق ببغداد 2693 لسنة 2017



(اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَىٰ نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ)

صدق الله العظيم

النور: 35

الإهداء

الى:

الذين يصنعون فجراً جديداً في فضاء العلم والمعرفة التماساً لغدٍ منشود

اهدي جهدي المتواضع

المؤلف



Contents

Chapter 8 – Attenuation		**الفصل 8 - التوهين**

Chapter 9 – Receivers		**الفصل 9 - أجهزة الاستقبال**

المُقدِّمة

الحمدُ للهِ حمداً يليقُ بجلالِ وجههِ وعظيم سُلطانه.
والصلاة والسلام على أشرف خلقه محمد المصطفى وآله وصحبه ومن والاه الى يوم الدين.

اما بعدُ:
تستخدم الألياف الضوئية كوسيلة للاتصالات السلكية واللاسلكية ولربط شبكات الحاسوب. وهي مفيدة بشكل خاص للاتصالات بعيدة المدى، لان الضوء ينتشر من خلال الألياف الرقيقة بدلاً من الاسلاك الكهربائية لان لها ميزاتها الهائلة التي يمكن أن تتميز بها عن الكيبلات النحاسية. مما يسمح للاتصالات بعيدة المدى ان يتم اجراء تشكيل إشارات ضوئية لكل قناة تنتشر في الألياف بمعدلات عالية.

نظم إتصالات الألياف البصرية حققت تقدماً كبيرا وخاصة منذ بداية التسعينات من القرن المنصرم وقد تقدمت جميع النظم تقدما كبيرا وعلى جميع الاصعدة, حيث كانت أعلى قدرة من وصلات الألياف البصرية التجارية المتاحة في عام 1992 هي 2.5 كَيكَابايت / ثانية فقط.
وبعد مضي 4 سنوات فقط، فإن أنظمة تعدد الإرسال وبتقسيم الطول الموجي مع الأنظمة أصبحت القدرة الإجمالية 40 كَيكَابايت / ثانية وهي متاحة بشكل واسع. لكن هذا لم يفي بالغرض المنشود ودامت الابحاث لتحقق ابعاد ودقة بنقل المعلومات. اعتبارا من عام 2011 سُجل الرقم القياسي للنطاق الترددي على أحادي النواة وهو 101 تيرابايت في الثانية (370 قناة وتحتوي كل قناة على 273 كَيكَابيت في الثانية).

حيث أظهر الباحثون في حزيران 2013 انتقال 400 كَيكَابت في الثانية عبر قناة واحدة باستخدام تعدد الزخم الزاوي المداري. يمكن لكل ليف أن يحمل العديد من القنوات المستقلة، وكلٍ باسخدام طول موجي ضوئي مختلف (مضاعفة تقسيم الطول الموجي). معدل نقل البيانات لكل ليف هو معدل البيانات لكل قناة الذي يتم تقليله بواسطة تقنية تصليح الأخطاء (FEC)، مضروبا في عدد القنوات

سجلت للألياف متعددة النوى اعتبارا من يناير 2013 ، رقما قياسيا وهو 1.05 تيرابايت في الثانية الواحدة.
في عام 2009، كسرت مختبرات بيل حاجز الـ 100 (تيرابايت في الثانية) × كيلو متر 15.5 تيرابايت في الثانية على ليف واحد بطول 7000 كم.
اما بالنسبة للاتصالات قصيرة المدى، مثل شبكة في مبنى مكاتب، يمكن لوصل الألياف الضوئية توفير مساحة في الانبوب. وذلك لأن الليف الواحد يمكن أن يحمل بيانات أكثر بكثير من الكابلات الكهربائية مثل الكابلات فئة 5 إيثرنت القياسية (standard category 5 Ethernet cabling)، والتي عادة ما تعمل بسرعة 100 ميكَابايت في الثانية أو 1 كَيكَابايت في الثانية.

مزايا الاتصالات عن طريق الألياف الضوئية فيما يتعلق بأنظمة الأسلاك النحاسية: عرض النطاق الترددي الواسع يمكن لليف البصري الواحد أن يحمل أكثر من 3,000,000 المكالمات الصوتية المزدوجة أو 90,000 قناة تلفزيونية. والحصانة ضد التداخل الكهرومغناطيسي لان الضوء لايتأثر حينما يتم نقله من خلال الألياف الضوئية بأية إشعاع كهرومغناطيسي اخر قريب. الألياف البصرية غير موصلة كهربائيا، لذلك لا تعمل كهوائي لالتقاط الإشارات الكهرومغناطيسية. إن المعلومات التي تنتقل داخل الألياف الضوئية منيعة ضد التداخل الكهرومغناطيسي، حتى النبضات الكهرومغناطيسية الناتجه عن طريق الأجهزة النووية.
الألياف الضوئية يمكن ان تكون أجهزة استشعار لقياس الإجهاد ودرجة الحرارة والضغط، وتستخدم أيضا على نطاق واسع ضمن مكونات أجهزة الاستشعار الكيميائية البصرية، وتتضمن الاستخدامات الشائعة لها في أنظمة الأمن المتقدمة لكشف التسلل والغش الصناعي وتهريب االبضائع الغير مسموح بها.

ويمكن استخدام الألياف بسبب صغر حجمها، أو حقيقة أنها ليست بحاجة إلى طاقة كهربائية في الاماكن البعيد، أو لأن العديد من أجهزة الاستشعار يمكن أن تكون مضاعفة على طول الألياف باستخدام أطوال موجية مختلفة من الضوء لكل جهاز استشعار، أو عن طريق الاستشعار عن التأخير في الوقت عندما يمر الضوء مع الألياف من خلال كل جهاز استشعار. ويمكن تحديد وقت التأخير باستخدام جهاز مثل مقياس انعكاس المجال الضوئي (ريفلكتوميتير).
وللألياف الضوئية استخدامات أخرى عديدة؛ فقد تستخدم في الطب وتطبيقات أخرى كمصدر ضوء، مثل إنارة هدف غير مرئي مباشرة، وفي بعض المباني تستخدم الألياف الضوئية لتوجيه أشعة الشمس من السطح لأجزاء أخرى من المبنى للإستفادة منها.

فقد نشر باحثون من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو تقريرا في دورية "ساينس" يفصلون فيه كيف تمكنوا من زيادة القوة القصوى التي يمكن ضمنها إرسال إشارات بصرية وفك تشفيرها، وما ترتب على ذلك من جعل الإشارات البصرية تنتقل لمسافات أطول دون تردٍّ في جودتها. وقال المركز الإخباري التابع للجامعة إن "هذا التقدم ينطوي على إمكانية زيادة معدلات نقل البيانات لكابلات الألياف البصرية التي تشكل العمود الفقري للإنترنت وشبكات الخطوط الأرضية السلكية واللاسلكية"
وخلال التجربة تمكن الباحثون من زيادة قوة الإشارات البصرية بنحو عشرين ضعفا، وخلال عملهم ذلك كان بمقدورهم إرسال إشارات بصرية لمسافة قياسية بلغت 7456 ميلا (12 ألف كيلومتر) دون أي تشويه مصاحب.

بدأ نظام (بيل Bell) للإتصالات, التقييم التجاري لنظام الإتصالات الضوئية الذى يتم فيه تشفير الرسائل إلى نبضات من الضوء تنتقل عن طريق الألياف الزجاجية التى يقدر سمكها بقدر سمك شعرة رأس الإنسان. النظام الجديد يحمل الصوت, والبيانات وإشارات الفيديو لمسافة أكثر من واحد ونصف ميل من الكابلات تحت الارض تربط اثنين من مكاتب تحويل شركة بل للتليفون بولاية إلينوى ومبنى تجاري كبير في مدينة شيكاغو في مركز لرجال الأعمال. وكابل الدليل الضوئى .قطره فقط نصف بوصة . يحتوي على 24 من الألياف في اثنين من الأشرطة تحتوى كل منها على12 من الألياف. القدرةعلى إستيعاب المعلومات في كل من الالياف 44.7 مِگابت في الثانية ، مما يعني أن مصدر الضوء يتحول من التوصيل ثم القطع 44.7 مليون مرة في الثانية الواحدة.

وهذا يعني أن مصدر الضوء المغذى. في معدل النبضات الذى أشرنا إليه فإن ليفة بصرية واحدة يمكنها حمل 672 صوت وحيد الإتجاه ، ومن ثم فإن 24 ليفة بصرية لها قدرة حاصل ضرب 672 x 12 أو 8.064. أما المحادثات الثنائية الإتجاه لكى تشابه أو تطابق هذه القدرة مع أزواج من الأسلاك النحاسية التقليدية يتطلب الكابل عدة مرات أكبر.

والهدف الرئيسي من الكتاب. على وجه التحديد، ينبغي أن يكون:
قادرة على تقديم كل من المقرر الدراسي للمعاهد والكليات ويعتبر كدراسة مرجعية. ولهذا السبب، تم التركيز على الفهم المادي، و يتم مناقشة الجوانب الهندسية أيضا في بعض الفصول.
في الواقع، على الرغم من أن أتصالات الألياف البصرية عملت لاكثر من ثلاثة عقود وهي فترة تعتبر طويلة بتقدم العلم والمعرفة وخاصة في مجال اتصالات الالياف البصرية، وعلاوة على ذلك، فإن وتيرة الابتكار والنشر التي تغذيها شبكة الإنترنت أدت بوجه خاص إلى مواصلة التطورات في العقد المقبل من ابحاث المرجح أن تتطابق أو حتى تتجاوز تلك التي حدثت في العقود السابقة. وبالتالي نسعى جاهدين لترجمة هذا التطور ومواكبتة وخاصة في العراق الذي يمتاز بوجود الايدي الماهرة والمهندسين والخبراء ليتمتعوبأحداث الطفرات النوعية في الممارسات العملية لاتقان التوصيلات بين نقاط الاتصال المحلية والعالمية وسندخل في هذا الكتاب الى عالم التكنلوجيا البصرية واستخداماتها إلى حد كبير. وتشمل التطورات الرئيسية التي حدثت تلك المرتبطة بألياف ذات الاداء العالي بالضروف الاستثنائية.
تطوير ألياف الكريستال الضوئية وهو جيل جديد من متعدد متدرج مؤشر البلاستيك الألياف البصرية؛ تصنيع النقاط الكمومية للمصادر البصرية والكاشفات؛ التحسينات في تكنولوجيا البصرية لمكبر الصوت. تحقيق الدوائر

المتكاملة الضوئية لتوفير فائق السرعة لمعالجة الإشارات البصرية جنبا إلى جنب مع السيليكون الضوئيات؛ التطورات في معالجة الإشارات الرقمية لتخفيف انتقال الألياف والإعاقة وتطبيق استراتيجيات تصحيح الأخطاء الأمامية. وبالإضافة إلى ذلك، هناك تحسينات كبيرة في تقنيات الإرسال والتعدد مثل استخدام الإرسالات المشفرة، متعامد تعدد الإرسال تقسيم التردد و كثيفة الطول الموجي تقسيم مضاعفة، في حين، في الآونة الأخيرة، كان هناك وعودة النشاط المرتبط بعملية إرسال متماسكة، ولا سيما في طور تشكيلها.
وأخيرا، أصبحت تقنيات الشبكات البصرية قد أنشئت باستخدام نماذج مرجعية محددة لشبكة النقل البصرية جنبا إلى جنب مع التطورات الناشئة من شبكات المنطقة المحلية على أساس إيثرنت لتوفير لـ (أي 100 كَيكَابت إيثرنت لشبكات النقل من الدرجة الحاملة).
يعتمد هذا الكتاب على مواد المصدر من العديد من البحوث والمنشورات الأخرى في هذا المجال

على الرغم من أن الكتاب يبقى نصاً استهلالياً شاملاً للاستخدام من قبل كل من طلبة الجامعة والدراسات العليا والمهندسين و لتزويدهم بأساس متين في كل شيء متقدم من جوانب تكنولوجيا اتصالات الالياف البصرية كما وان هناك عدد من الأمثلة التي يتضمنها فصول الكتاب لتوسيع افاق القارئ الكريم.

اللهم لاتؤخذنا ان نسينا أو أخطأنا
والحمد للهِ أولاً وآخراً.

الدكتور أحمد الجمل



Chapter 1

Optical Fiber

1 Optical Fiber

1.1 Introduction

1 الألياف البصرية

1.1 مقدمة

An optical fiber is a long thin strand of impurity-free glass used as a transport medium for data. A typical point-to-point fiber optic communication network consists of a transmitter (laser), a transport medium (optical fiber) and a receiver (photo-diode) as in Fig. (1.1).

الألياف البصرية هو على شكل حبلاً طويلاً رقيقاً من الزجاج خالي من الشوائب، وتستخدم كوسيلة لنقل البيانات. وتتألف شبكة الاتصالات البصرية لنقل المعلومات من نقطة إلى نقطة من جهاز إرسال (ليزر)، وسيط ناقل (الألياف البصرية) ومستقبل (الصمام الثنائي الضوئي) كما هو مبين في الشكل (1.1).

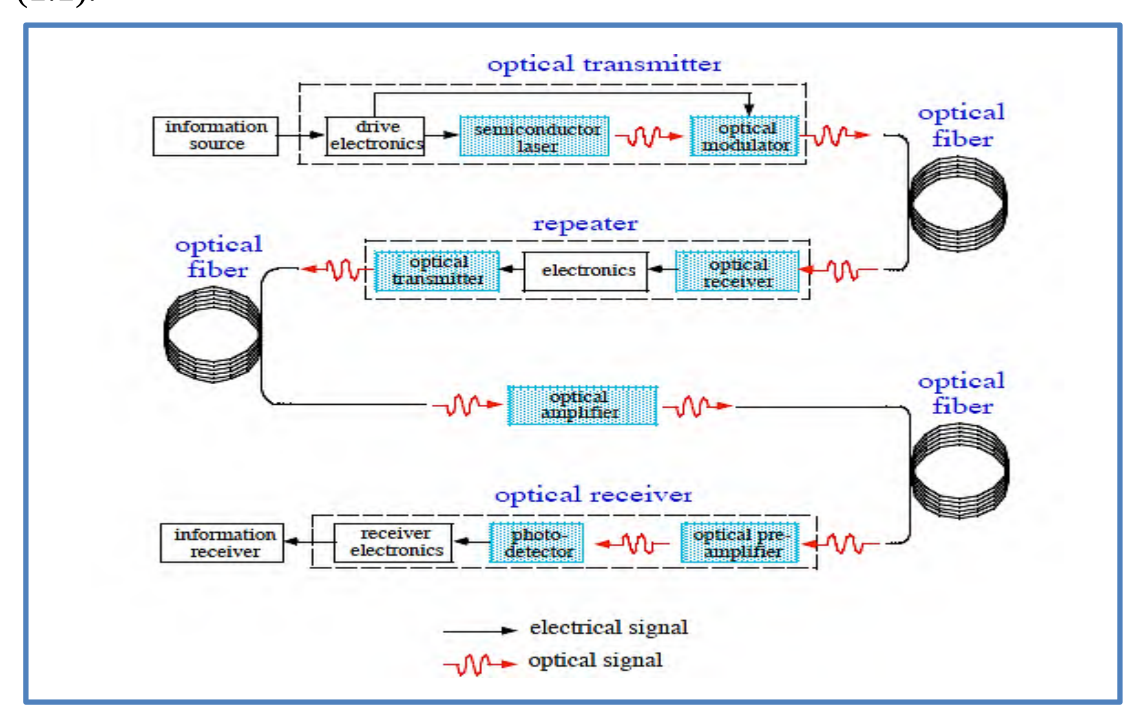


Figure 1.1: Typical components found in a point-to-point optical communication system.

1.2 General Optical Fiber Communication System

2.1 النظام العام لأتصالات الألياف البصرية

1.2.1 Basic Components

1.2.1 المكونات الأساسية

Basic block diagram of optical fiber communication system consists of following important blocks.

FOCS requires at least three basic components:

1- **Optical transmitter**: convert electrical signals to optical signals for input to a transmission medium. An optical fiber.

2- **Transmission medium:** is used as the transmission medium for these systems. At the distant end, optical receivers.

3- **Detector or optical receiver**: convert the signals back to the electrical domain.

يتكون مخطط المجموعة الأساسي من نظام الاتصالات الألياف البصرية من المجموعة الهامة التالية.

يتطلب نظام الاتصالات الألياف البصرية **(FOCS)** من ثلاثة مكونات أساسية على الأقل:

1- **الارسال البصري**: تحويل الاشارات الكهربائية الى الاشارات الضوئية لادخالها الى الوسط الناقل. الألياف البصرية.

2- **وسط ناقل**: تستخدم كوسيلة نقل لهذه الأنظمة. الى النهاية البعيدة، والتي فيها أجهزة الاستقبال البصرية.

3- **كاشف أو مستقبل بصري**: تحويل الإشارات إلى المجال الكهربائي.

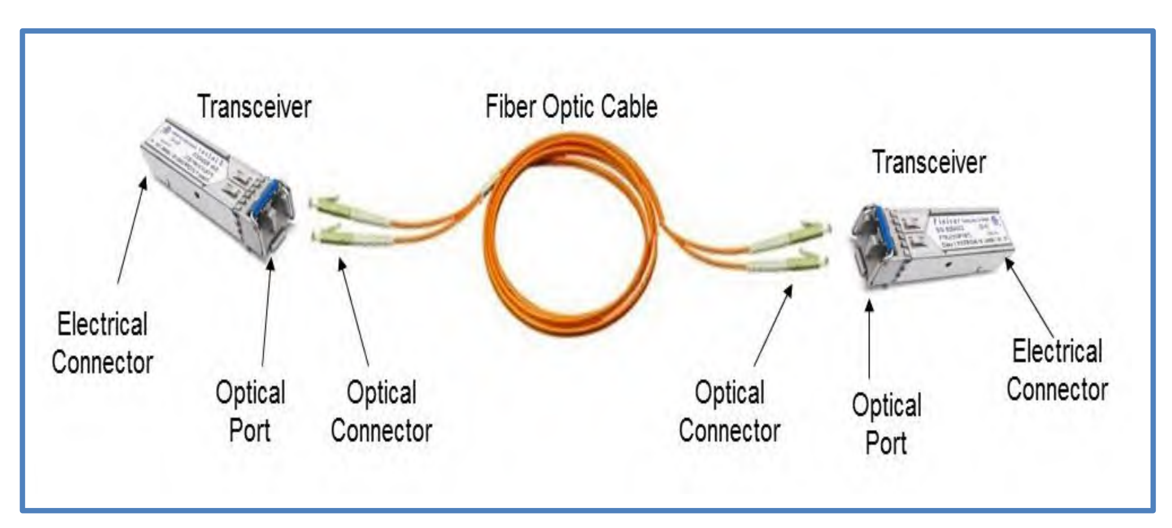


Figure 1.2: A basic link is composed of optical transceivers, cables, and connectors.

Optical fibers are extremely thin strands of ultra-pure glass designed to transmit light from a transmitter to a receiver. These light signals represent electrical signals that include video, audio, or data information in any combination.

الألياف البصرية هي خيوط رقيقة جدا من الزجاج فائقة النقاء مصممة لنقل الضوء من جهاز الإرسال إلى جهاز الاستقبال. وتمثل هذه الإشارات الضوئية إشارات كهربائية تتضمن معلومات عن الفيديو أو الصوت أو أي تركيبة لمعلومات بيانية.

Figure (1.3) shows the general Longitudinal-section of an optical fiber.

ويبين الشكل (3.1) المقطع الطولي العام للألياف البصرية.

The fiber consists of three main regions. The center of the fiber is the **core**. This region actually carries the light. It ranges in diameter from 9 microns (μm) to 100 microns in the most commonly used fibers. Surrounding the core is a region called the **cladding**. This part of the fiber confines the light in the core. The cladding typically has a diameter of 125 microns or 140 microns.

ان الالياف البصرية تتكون من ثلاث مناطق رئيسية. **المنطقة الاولى** هي مركز الألياف وهو **الجوهر او اللب او يسمى القلب**. هذه المنطقة في الواقع هي التي تحمل وينتقل فيها الضوء. ويتراوح قطرها من 9 ميكرون (μm) إلى 100 ميكرون في الألياف الأكثر استخداما. ويحيط باللب **المنطقة الثانية** وتسمى **الكسوة**. هذا الجزء من الألياف يحصر الضوء في اللب بسبب الانعكاس الداخلي التام. يبلغ قطر الكسوة عادة 125 ميكرون أو 140 ميكرون.

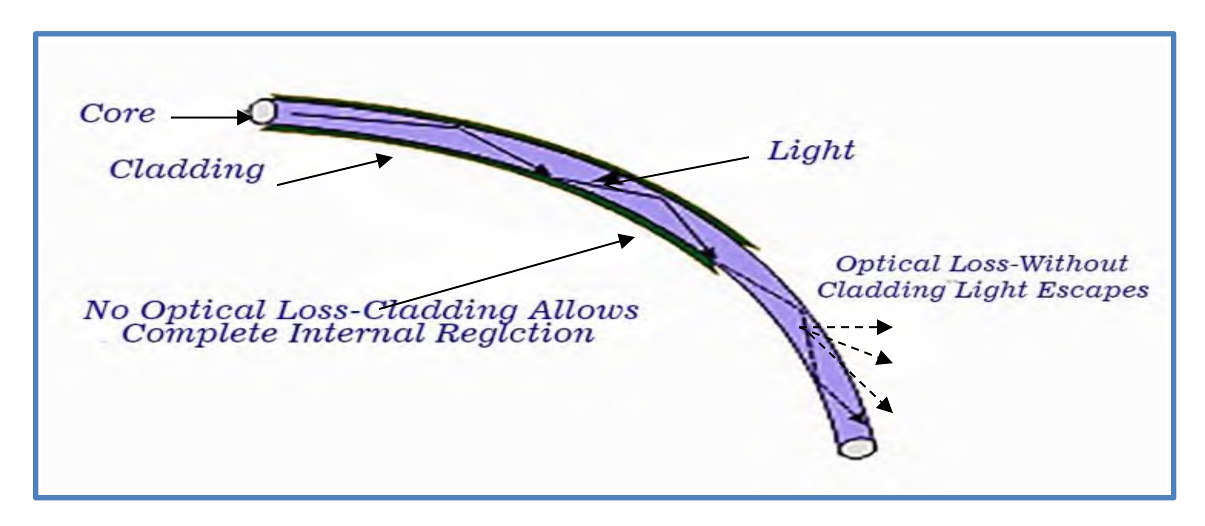


Figure 1.3: Cross-Section of a Typical Optical Fiber.

A key design feature of all optical fibers is that the refractive index of the core is higher than the refractive index of the cladding. Both the core and cladding are usually doped glass materials. Other fiber types incorporate quartz or pure fused silica and plastic, but these are not used in mainstream high-performance applications. The outer region of the optical fiber is called the coating or buffer. The buffer, typically a plastic material, provides protection and preserves the strength of the glass fiber. Typical diameters for the buffer are 250 microns, 500 microns, and 900 microns.

من خصائص التصميم الرئيسية لجميع الألياف البصرية أن معامل الانكسار في اللب أعلى من معامل الانكسار للكسوة (وسيأتي شرح هذه العملية في الفصل الثاني). وعادة المواد المصنوعة لكل من اللب والكسوة من الزجاج. أنواع الألياف الأخرى تكون مصنوعة من الكوارتز أو منصهر السيليكا النقي والبلاستيك، ولكن الالياف البلاستيكية لا تستخدم في تيار التطبيقات عالية الأداء. و**المنطقة الثالثة** وهي المنطقة الخارجية للألياف البصرية وتسمى **بالطلاء أو العازلة**. عادة يكون العازل من المواد البلاستيكية، وهو يوفر الحماية من العوامل والمؤثرات الخارجية ويحافظ على قوة الألياف الزجاجية من الضغط والشد والالتواء والتغيرات البيئية وغيرها. الأقطار النموذجية للعازلة هي 250 ميكرون، 500 ميكرون، و 900 ميكرون.

The development of glass-coated glass fibers was motivated by the optical loss experienced when using uncoated glass fibers. The inner fiber, or core, was used to transmit the light, while the glass coating, or cladding, prevented the light from leaking out of the core by reflecting the light within the boundaries of the core. The cladding is designed so that it causes the light to be angled back into the core as illustrated in Figure (1.3) and thus carried along the length of the fiber.

كان الدافع وراء تطوير الألياف الزجاجية المغلفة بالزجاج من الفقدان البصري التي واجهت عند استخدام الألياف الزجاجية غير المصقول المقطوعة بشكل غير نظامي. وقد استخدمت منطقة اللب او تسمى الاساس في مركز الليف البصري لنقل الضوء، في حين أن طلاء اللب ويسمى الكسوة فائدته منع الضوء من التسرب من اللب بسبب انعكاس الضوء داخل حدود اللب. تم تصميم الكسوة بحيث يعكس الضوء الى الداخل لِتُكون زاوية مرة أخرى في داخل اللب كما هو موضح في الشكل (3.1)، وبالتالي نقل الضوء على طول الألياف.

*100 million Km optical fiber employed worldwide.

* **اضف الى معلوماتك:** أكثر من 100 مليون كيلومتر من الألياف البصرية المستخدمة في جميع أنحاء العالم.

1.2.2 Basic types

The basic types of **FOCSs** are **long-haul**, **tactical**, **fixed base**, and **area network**.

1-Long-haul FOCS: Long-haul systems normally provide connectivity among many users on a worldwide basis. They typically are high data rate, wide bandwidth single-mode FO networks, with a long service life.

2- Tactical FOCS: These systems cover relatively short distances, are usually temporary, and are found more often in battlefield and emergency situations. Tactical FOCS must meet stringent requirements for field survivability, ease of deployment. and quick recovery.

3- Fixed base FOCS: Fixed base communications systems are permanent. Backbone arrangements of communications equipment that can accommodate trucking and local distribution of voice, data, and video services.

4- **Area networks**: The service area of a network is defined by the breadth of territory that an autonomous network can directly support communications among its members.

2.2.1 الأنواع أساسية

الأنواع أساسية المستخدمة من نظام الاتصالات الألياف البصرية **(FOCSs) في المسافات الطويلة، التكتيكية، قاعدة البيانات، وشبكة المنطقة.**

1-المسافات الطويلة لنظام الاتصالات الألياف البصرية: توفر النظم التوصيلية عادة بين العديد من المستخدمين على أساس عالمي. فهي تنقل عادة معدل بيانات مرتفع، وتستخدم شبكات النطاق العريض ذات النطاق الترددي للنمط المفرد للالياف البصرية، وذات عمر خدمة طويل.

2 - وسيلة نظام الاتصالات الألياف البصرية: تغطي هذه الأنظمة مسافات قصيرة نسبيا، وعادة ما تكون مؤقتة، وتوجد في كثير من الأحيان في ساحة المعركة وحالات الطوارئ. لان يجب على نظام اتصالات الألياف البصرية ان يفي بمتطلبات صارمة من أجل البقاء على قيد الحياة في الميادين، وسهولة نشر او امداد الالياف. وسحب او الاسترداد السريع.

3 - قاعدة ثابتة لنظام الاتصالات الألياف البصرية: أنظمة الاتصالات ثابتة دائماً. وتعتبر هذه الترتيبات هي بمثابة العمود الفقري لمعدات الاتصالات التي يمكن أن تستوعب النقل العالي والتوزيع المحلي لخدمات الصوت والبيانات والفيديو.

4 - الشبكات المحلية: تعرف منطقة الخدمة في الشبكة بتوسيع المناطق التي يمكن لشبكة مستقلة أن تدعم مباشرة الاتصالات بين مشتركيها.

1.3 Fiber Optic Communication Link:

3.1 ارتباط اتصالات الألياف البصرية:

1. Message Origin:

• Generally message origin is from a transducer that converts a non-electrical message into an electrical signal. Common examples include microphones for converting sound waves into currents and video (TV) cameras for converting images into current. For data transfer between computers, the message is already in electrical form.

1. مصدر الرسالة:

عموما يأتي مصدر الرسالة من محول يحول الرسالة غير الكهربائية إلى إشارة كهربائية. وتشمل الأمثلة الشائعة الميكروفونات لتحويل الموجات الصوتية إلى تيارات وايضاً كاميرات الفيديو (التلفزيون) لتحويل الصور إلى تيار. لنقل البيانات بين أجهزة الكمبيوتر، اذاً الرسالة تكون بالفعل على شكل كهربائي.

2. Modulator:

• The modulator has two main functions.

1) It converts the electrical message into the proper format.

2) It impresses this signal onto the wave generated by the carrier source.

Two distinct categories of modulation are used i.e. analog modulation and digital modulation.

2. المُضمن:

• المُضمن لديه وظيفتين رئيسيتين.

1) إنه يحول الرسالة الكهربائية الى الشكل الملائم.

2) فإنه يحمل هذه الإشارة على الموجة الناتجة من مصدر الناقل.

وتستخدم فئتان مختلفتان للتضمين، وهما التضمين التماثلي والتضمين الرقمي.

3. Carrier Source:

• Carrier source generates the wave on which the information is transmitted. This wave is called the carrier. For fiber optic system, a laser diode (LD) or a light emitting diode (LED) is used. They can be called as optic oscillators; they provide stable, single frequency waves with sufficient power for long distance propagation.

3. مصدر الموجة الحاملة:

• يولد مصدر الموجة الحاملة الموجة التي ترسل عليها المعلومات. وتسمى هذه بالموجة الناقلة. وبالنسبة إلى نظام الألياف الضوئية، يستخدم الصمام الثنائي الليزر (LD) أو الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED). ويمكن أن يطلق عليها المتذبذب البصري. فهي توفر موجات مستقرة، موجات تردد واحد مع قوة كافية للانتشار لمسافات طويلة.

4. Channel Coupler:

- Coupler feeds the power into the information channel. For an atmospheric optic system, the channel coupler is a lens used for collimating the light emitted by the source and directing this light towards the receiver. The coupler must efficiently transfer the modulated light beam from the source to the optic fiber. The channel coupler design is an important part of fiber system because of possibility of high losses.

4. اقتران القناة:

- تقوم اقتران التوصيل بتغذية الطاقة في قناة المعلومات. وبالنسبة إلى نظام البصريات في الغلاف الجوي، واقتران القناة تستخدم عدسة لتلائم الضوء المنبعث من المصدر وتوجيه هذا الضوء نحو المستقبِل.

يجب على المقرنة نقل شعاع ضوء المتضمن بكفاءة من المصدر إلى الألياف البصرية. تصميم قناة الاقتران هو جزء مهم من نظام الألياف بسبب احتمالية الخسائر العالية.

5. Information Channel:

- The information channel is the path between the transmitter and receiver. In fiber optic communications, a glass or plastic fiber is the channel. Desirable characteristics of the information channel include low attenuation and large light acceptance cone angle. Optical amplifiers boost the power levels of weak signals. Amplifiers are needed in very long links to provide sufficient power to the receiver. Repeaters can be used only for digital systems. They convert weak and distorted optical signals to electrical ones and then regenerate the original digital pulse trains for further transmission.

5. قناة المعلومات:

- قناة المعلومات هي المسار بين المرسل والمستقبل. في نظام اتصالات الألياف البصرية، الزجاج أو الألياف البلاستيكية هي القناة. وتشمل الخصائص المرغوبة لقناة المعلومات انخفاض التوهين وكبر زاوية قبول المخروط.

المضخمات البصرية تعزز مستويات الطاقة من الإشارات الضعيفة. وهناك حاجة إلى مكبرات الصوت في وصلات طويلة جدا لتوفير القدرة الكافية للمستقبل. يمكن استخدام المكررات فقط للأنظمة الرقمية. وهي تحول الإشارات الضوئية الضعيفة والمشوهة إلى الإشارات الكهربائية ثم تجدد سحب النبضة الرقمية الأصلية لمزيد من الإرسال.

• Another important property of the information channel is the propagation time of the was travelling along it. A signal propagating along a fiber normally contains a range of optic frequencies and divides its power along several ray paths. This results in a distortion of the propagating signal. In a digital system, this distortion appears as a spreading and deforming of the pulses. The spreading is so great that adjacent pulses begin to overlap and become unrecognizable as separate bits of information.

• الخاصية الهامة ألاخرى لقناة المعلومات هي وقت الانتشار الذي تنتقل فيه الاشارة الى الامام. وعادة ما تحتوي الإشارة المنتشرة على طول الألياف على مجموعة من الترددات البصرية وتقسم قوتها على طول عدة مسيرات شعاعية. ويؤدي ذلك إلى تشويه إشارة الانتشار.

في النظام الرقمي، يظهر هذا التشويه على أنه انتشار وتشوه النبضات. انتشار كبيرة لدرجة أن النبضات المجاورة تبدأ في التداخل وتصبح لا يمكن التعرف عليها وتكون كبتات منفصلة عن المعلومات.

6. Optical Detector:

• The information being transmitted is detector. In the fiber system the optic wave is converted into an electric current by a photodetector. The current developed by the detector is proportional to the power in the incident optic wave. Detector output current contains the transmitted information. This detector output is then filtered to remove the constant bias and then amplified.

• The important properties of photodetectors are small size, economy, long life, low power consumption, high sensitivity to optic signals and fast response to quick variations in the optic power.

6.الكاشف البصري:

• المعلومات التي يتم إرسالها الى الكاشف. في نظام الألياف يتم تحويل الموجة البصرية إلى تيار كهربائي بواسطة الكاشف البصري.

التيار الحالي الذي وضعه الكاشف يتناسب مع قوة الموجة البصرية الساقطة.

يتضمن كاشف التيار الخارج على المعلومات المرسلة. ثم يتم تصفية ناتج الكاشف بإزالة الانحياز المستمر ومن ثم تضخيمها.

• الخصائص الهامة للكواشف الضوئية هي صغيرة الحجم، اقتصادية، ساعات تشغيل طويلة، انخفاض استهلاك للطاقة، حساسية عالية للإشارات البصرية والاستجابة السريعة للتغيرات السريعة في الطاقة البصرية.

7. Signal Processing:

• Signal processing includes filtering, amplification. Proper filtering maximizes the ratio of signal to unwanted power. For a digital system decision circuit is an additional block. The bit error rate (BER) should be very small for quality communications.

7.معالجة الإشارات:

• معالجة الاشارة يتضمن التصفية، التضخيم. التصفية المناسبة هي زيادة نسبة الإشارة إلى الطاقة الغير مرغوب فيها. دائرة تصميم النظام الرقمي هي مجموعة اضافية. وينبغي أن يكون معدل الخطأ في البتات (BER) ضئيلاً جدا بالنسبة لجودة الاتصالات.

8. Message Output:

• The electrical form of the message emerging from the signal processor are transformed into a sound wave or visual image. Sometimes these signals are directly usable when computers or other machines are connected through a fiber system.

8 .إخراج الرسالة:

• يتم تحويل الشكل الكهربائي للرسالة المستلمة في معالج الإشارة وتحويلها إلى موجة صوتية أو صورة مرئية. في بعض الأحيان تكون هذه الإشارات قابلة للاستخدام مباشرة عندما تكون أجهزة الكمبيوتر أو أجهزة أخرى متصلة من خلال نظام الألياف.

1.4 Advantages of Optical Fiber Communications

4.1 مزايا الألياف البصرية للاتصالات

1. Wide bandwidth

The light wave occupies the frequency range between 2 x 10^{12} Hz to 3.7 x 10^{12} Hz. Thus the information carrying capability of fiber optic cables is much higher.

.1 عرض النطاق الترددي الواسع

موجة الضوء تحتل نطاق الترددات بين 2×10^{12} هرتز إلى 3.7×10^{12} هرتز. وبالتالي فإن القدرة على نقل المعلومات في كابلات الألياف البصرية هو أعلى من ذلك بكثير.

2. Low losses

Fiber optic cables offers berry less signal attenuation over long distances. Typically it is less than 1 dB/km. This enables longer distance between repeaters.

.2 خسائر منخفضة

كابلات الألياف البصرية يكون فيها أقل توهين إشارة للمسافات الطويلة. وعادة ما يقل عن 1 ديسيبل/كم. وبالتالي نتمكن بوضع المكررات بين مسافات أطول.

3. Immune to cross talk

Fiber optic cables have very high immunity to electrical and magnetic field. Since fiber optic cables are non-conductors of electricity hence they do not produce magnetic field. Thus fiber optic cables are immune to cross talk between cables caused by magnetic induction.

.3 حصين ضد تقاطع المحادثة

كابلات الألياف البصرية لديها مناعة عالية جدا للمجال الكهربائي والمغناطيسي. وبما أن كابلات الألياف الضوئية ليست موصلة للكهرباء، فهي بالتالي لا تنتج مجالا مغناطيسيا. وهكذا كابلات الألياف البصرية هي في مأمن من عبور الحديث بين الكابلات الناجم عن الحث المغناطيسي..

4. Interference immune

Fiber optic cable sure immune to conductive and radiative interferences caused by electrical noise sources such as lighting, electric motors, fluorescent lights.

.4 حصين ضد التشويش

كابل الألياف البصرية محصنة ضد التوصيل والتدخلات الإشعاعية وكذلك الإشعاعية الناجمة عن مصادر الضوضاء الكهربائية مثل الإضاءة، المحركات الكهربائية، أضواء الفلورسنت وغيرها.

5. Light weight

As fiber cables are made of silica glass or plastic which is much lighter than copper or aluminum cables. Light weight fiber cables are cheaper to transport.

.5 خفيفة الوزن

كما أن كابلات الألياف مصنوعة من زجاج السيليكا أو البلاستيك الذي هو أخف بكثير من كابلات النحاس أو الألومنيوم. ولأن الكابلات الألياف خفيفة الوزن سوف يكون نقلها أرخص.

6. Small size

The diameter of fiber is much smaller compared to other cables, therefore fiber cable is small in size, requires less storage space.

6. حجم صغير

قطر الألياف هو أصغر بكثير بالمقارنة مع غيرها من الكابلات، وبالتالي كيبلات الألياف صغيرة الحجم، وبهذا يتطلب مساحة تخزين أقل.

7. More strength

Fiber cables are stronger and rugged hence can support more weight.

7. أكثر قوة

كابلات الألياف هي أقوى وأصلد وبالتالي يمكن أن تتحمل المزيد من الوزن.

8. Security

Fiber cables are more secure than other cables. It is almost impossible to tap into a fiber cable as they don't radiate signals.

No ground loops exist between optical fibers hence they are more secure.

8 - الأمن

كابلات الألياف هي أكثر أمنا من الكابلات الأخرى. ويكاد يكون من المستحيل الاستفادة من كابل الألياف لأنها لا تشع إشارات.

لا توجد حلقات أرضية او دوائر كهربائية بين الألياف البصرية وبالتالي فهي أكثر أمنا.

9. Long distance transmission

Because of less attenuation transmission at a longer distance is possible.

9. الأرسال لمسافات طويلة

ونظرا لان الالياف أقل توهين فمن المكن انتقال الاشارة لمسافة أطول.

10. Environment immune

Fiber cables are more immune to environmental extremes. They can operate over a large temperature variations. Also they are not affected by corrosive liquids and gases.

10. المناعية (التحصن) ضد البيئة

كابلات الألياف هي أكثر مناعة ضد التغيرات البيئية. ويمكن أن تعمل حتى في اختلاف كبير في درجة الحرارة. كما أنها لا تتأثر بالسوائل والغازات المسببة للتآكل.

11. Sage and easy installation

Fiber cables are safer and easier to install and maintain. They are non-conductors hence there is no shock hazards as no current or voltage is associated with them. Their small size and light weight feature makes installation easier.

11. متماسك وسهل التركيب

كابلات الألياف هي أكثر أمانا وأسهل للنصب (التثبيت) والصيانة. فهي غير موصلة وبالتالي ليس هناك أي مخاطر لحدوث الصدمة كما لا يوجد تيار أو جهد مرتبطة بها. وصغر حجمها وخفيفة الوزن ميزة يجعل من تركيبها سهل.

12. Less cost
Cost of fiber optic system is less competed to any other system.

12 - تكلفة أقل
تكلفة نظام الألياف البصرية أقل مقارنة مع أي نظام آخر.

1.5 Disadvantages of Optical Fiber Communications

5.1 مساوئ اتصالات الألياف البصرية

1. High initial cost
The initial cost of installation or setting up cost is very high compared to all other system.

2. Maintenance and repairing cost
The maintenance and repairing of fiber optic systems is not only difficult but expensive also.

3. Jointing and test procedures
Since optical fibers are of very small size. The fiber joining process is very costly and requires skilled manpower.

4. Tensile stress
Optical fibers are more susceptible to buckling, bending and tensile stress than copper cables. This leads to restricted practice to use optical fiber technology to premises and floor backbones with a few interfaces to the copper cables.

5. Short links
Even though optical fiber cables are inexpensive, it is still not cost effective to replace every small conventional connector (e.g. between computers and peripherals), as the price of optoelectronic transducers are very high.

1. ارتفاع التكلفة الأولية
التكلفة الأولية لإعداد التركيب تكون تكلفة مرتفعة جدا بالمقارنة مع جميع الأنظمة الأخرى.

2. تكلفة الصيانة والإصلاح
إن صيانة وإصلاح أنظمة الألياف البصرية ليست صعبة فحسب بل مكلفة أيضا.

3. إجراءات الربط و الاختبار
لان الألياف البصرية هي ذات حجم صغير جدا. عملية ربط الألياف تكون مكلفة جدا ويتطلب مكائن وعدة خاصة وقوى عاملة ماهرة.

4. اجهاد الشد
الألياف البصرية هي أكثر عرضة للطوي والثني، والانحناء والشد والإجهاد من الكابلات النحاسية. وهذا يؤدي إلى تقييد الممارسة لاستخدام تكنولوجيا الألياف الضوئية في المباني والأعمدة العمودية الذي يعتبر الاساس بالمقارنة مع عدد قليل من الكابلات النحاسية.

5. روابط قصيرة
على الرغم من أن كابلات الألياف البصرية غير مكلفة، فإنه لا يزال غير فعالة من حيث التكلفة لتحل محل كل الموصلات التقليدية الصغيرة (على سبيل المثال بين أجهزة الكمبيوتر والأجهزة الطرفية)، ومع العلم أن سعر المحولات الضوئية عالية جدا.

6. Fiber losses

The amount of optical fiber available to the photodetector at the end of fiber length depends on various fiber losses such as scattering, dispersion, attenuation and reflection.

6. خسائر الألياف

كمية الاشارة الواصل الى نهاية الليف البصري يعتمد على الاشارة الواصلة الى الكاشف الضوئي في نهاية طول الألياف، لاعتماده على مختلف الخسائر داخل الألياف مثل الاستطارة، التشتت، التوهين و الانعكاس.

1.6 Structure of Optical Fiber

The optical fiber is made of two concentric cylindrical strands of silica surrounded by a plastic coating. The center most silica strand is the cone of the fiber with a refractive index of approximately 1.48. The core of the fiber physically transports most of the optical power. The core is surrounded by another strand of silica called the cladding. The cladding has a slightly lower refractive index, 1.46 and provides the interface that confines the optical signal to the core. The outermost layer of the optical fiber is the buffer coating. This thin plastic covering protects the glass from mechanical and environmental damage. A pictorial representation of the components that makeup an optical fiber is shown in Fig (1.4) and Fig (1.5).

6.1 تركيب الألياف البصرية

الألياف البصرية مصنوعة من اثنين من الخيوط الأسطوانية متحدة المركز من السيليكا محاطة بطلاء من البلاستيك. خيط السيليكا يكون في مركز الليف البصري وهو مخروطي الشكل مع معامل الانكسار تقريباً 1.48. ويعتبر لب الليف والذي يحتفظ بالطاقة الضوئية بداخله على طول مسيرة الشعاع.

ويحيط اللب حبلا آخر من السيليكا يسمى الكسوة. الكسوة لديها معامل الانكسار أقل قليلا حوالي 1.46 وبهذا يوفر غطاء والذي بواسطتة تنحصر الإشارة البصرية إلى داخل اللب.

الطبقة الخارجية للألياف الضوئية هي الطبقة العازلة. هذا الغطاء البلاستيكي الرقيق يحمي الزجاج من الأضرار الميكانيكية والبيئية. يظهر الشكل (4.1) والشكل (5.1) تمثل تخطيطي للمكونات التي يحتوي عليها ألليف البصري.

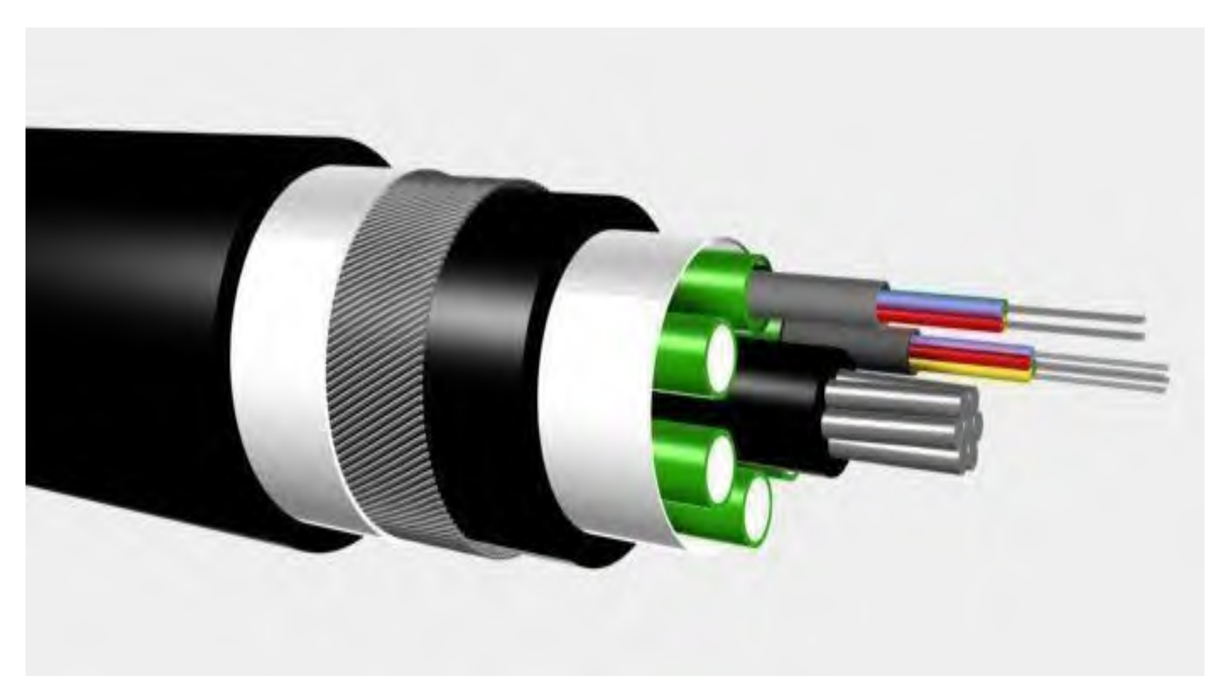


Figure 1.4: Components optical fiber.

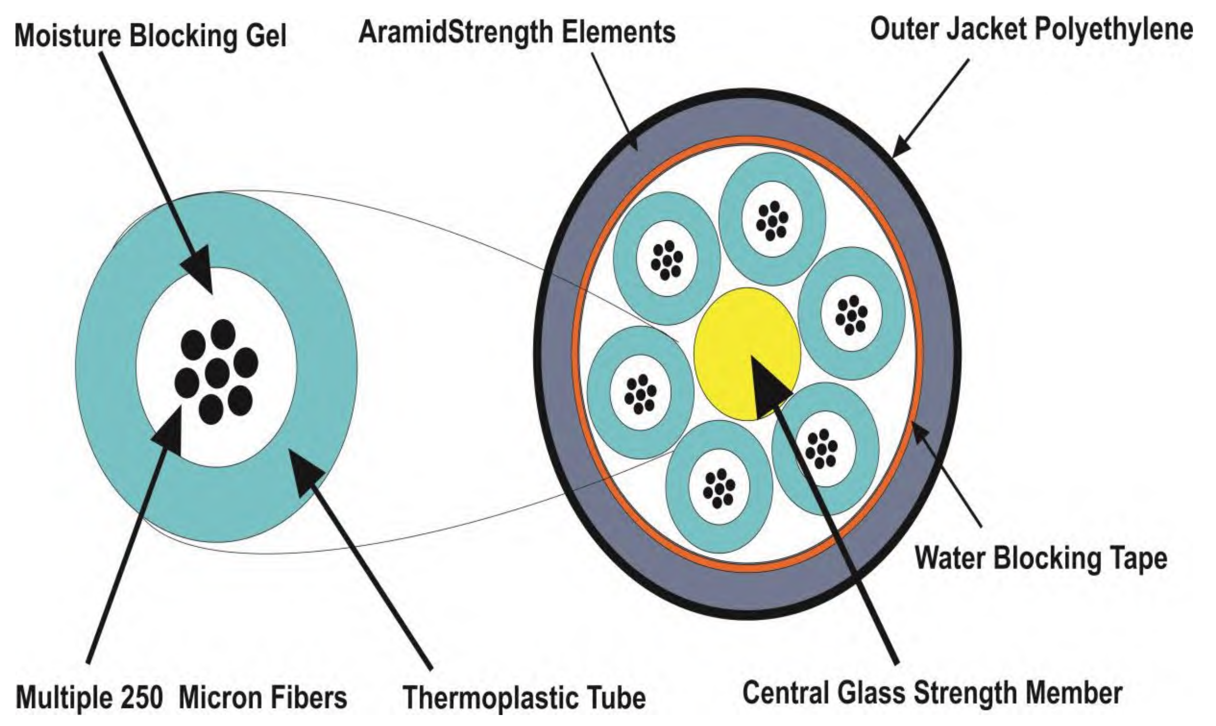


Figure 1.5:Cross-section of the components of the optical fiber.

1.7 Historical Development

First generation

The first generation of light wave systems uses GaAs semiconductor laser and operating region was near 0.8 µm . Other specifications of this generation are as under:

i) Bit rate : 45 Mb/s
ii) Repeater spacing : 10 km

Second generation

i) Bit rate : 100 Mb/s to 1.7 Gb/s
ii) Repeater spacing : 50 km
iii) Operation wavelength : 1.3 µm
iv) Semiconductor : In GaAsP

Third generation

i) Bit rate : 10 Gb/s
ii) Repeater spacing : 100 km
iii) Operating wavelength : 1.55 µm

Fourth generation

Fourth generation uses WDM technique.

i)Bit rate : 10 Tb/s
ii)Repeater spacing : > 10,000 km
iii)Operating wavelength : 1.45 to 1.62 µm

Fifth generation

Fifth generation uses Roman amplification technique and optical solutions.

i)Bit rate : 40 - 160 Gb/s
ii)Repeater spacing : 24000 km - 35000 km

A fiber optic communication system fulfills these requirements, hence most widely acceptation.

7.1 التطور التاريخي

الجيل الاول

الجيل الأول من أنظمة الموجات الضوئية استخدم ليزر أشباه الموصلات GaAs وكانت منطقة التشغيل تقريباً 0.8 ميكرون.

المواصفات الأخرى لهذا الجيل هي كما يلي:

i) معدل البتات: 45 ميكَابايت / ثانية
ii) تباعد المكرر: 10 كيلومتر

الجيل الثاني

i) معدل البتات: 100 ميكَابايت / ثانية إلى 1.7 كيكَابايت / ثانية
ii) المباعدة بين المكرر: 50 km
iii) طول موجي التشغيل: 1.3 ميكرون
iv) ليزر أشباه الموصلات: In GaAsP

الجيل الثالث

i) معدل البتات: 10 Gb / S
ii) تباعد المكرر: 100 km
iii) طول موجي التشغيل: 1.55 ميكرون

الجيل الرابع

يستخدم الجيل الرابع تقنية WDM.

i) معدل البتات: 10 تيرابايت / ثانية
ii) تباعد مكرر: اكبر 10.000 كم
iii) طول موجي التشغيل: 1.45 إلى 1.62 ميكرون

الجيل الخامس

يستخدم الجيل الخامس تقنية التضخيم (Roman) والحلول البصرية.

i) معدل البتات: 40 - 160 Gb / S
ii) تباعد مكرر: 24000 كم - 35000 كم

نظام الاتصالات الألياف البصرية يستوفي كل هذه المتطلبات، وبالتالي قبوله على نطاق واسع.

1.8 Record Speeds

8.1 سرعات قياسية

*2006 - Nippon Telegraph and Telephone Corporation transferred 14 terabits per second over a single 160 km long optical fiber.

* سنة 2006 - نقلت شركة نيبون للبرق والهاتف 14 تيرابايت في الثانية عبر ألالياف البصرية طويلة طولها 160 كيلومترا.

*2009 - Bell Labs in Villarceaux, France transferred 100 Gbit/s over 7000 km fiber.

* سنة 2009 - مختبرات بيل في فيلارسيوكس، فرنسا نقل 100 كَيكَابت / ثانية خلال أكثر من 7000 كم الألياف.

*2010 - Bell Labs in Villarceaux, France transferred 100 peta bits per second.

* سنة 2010 - مختبرات بيل في فيلارسيوكس، في فرنسا نقلت 100 بيتا بت في الثانية الواحدة.

*2010 - Nippon Telegraph and Telephone Corporation transferred 69.1 Tbit/s over a single 240 km fiber multiplexing 432 channels, equating to 171 Gbit/s per channel.

* سنة 2010 - قامت شركة نيبون للبرق والهاتف بنقل 69.1 تيرابت / ثانية عبر قناة متعددة الإرسال من الألياف يبلغ طولها 240 كيلومترا، وهي 432 قناة، أي ما يعادل 171 كَيكَابت / ثانية لكل قناة.

*2012 - Nippon Telegraph and Telephone Corporation transferred 1 Peta bit per second over 50 kilometers over a single fiber.

*سنة 2012 - نقلت شركة نيبون البرق والهاتف 1 بيتا بت في الثانية أكثر من 50 كيلومترا عبر ليف ذو النمط المفرد.

1.9 Communication:

9.1 الاتصالات:

Optical fiber could be utilized Concerning illustration a medium to telecommunication Also PC systems administration as a result it is adaptable What's long-distance make Concerning illustration cables. It may be particularly invaluable for long-separate

ويمكن استخدام الألياف الضوئية فيما يتعلق بتوضيح وسيلة للاتصالات السلكية واللاسلكية وأيضا إدارة أنظمة الكمبيوتر وبسبب ان الالياف قابلة للتكيف ولمسافات طويلة وقلة التوهين والخسائر مقارنة بالكيبلات المحورية يمكن ان تستخدم على نطلق واسع في جميع انواع الاتصالات للمسافات القصيرة وكذلك للمسافات الطويلة جدا مع اثنين من المكررات.

communications, in light light propagates through the fiber for minimal weakening contrasted with electrical cables. These permits in length distances should make spanned with couple of repeaters.

To short distance application, for example, An system to an office building, fiber-optic cabling might save space On link ducts. This may be as a result a solitary fiber could convey a great deal more information over electrical cables for example, standard classification 5 Ethernet cabling, which commonly runs In 100 Mbit/s alternately 1 Gbit/s speeds.

لتطبيقها على المسافة القصيرة، وعلى سبيل المثال، نظام في مبنى المكاتب، كابلات الألياف البصرية قد يوفر مساحة بين قنوات الربط. و نتيجة لذلك فأن الألياف الاحادية يمكن أن تنقل الكثير من المعلومات أكثر من الكابلات الكهربائية على سبيل المثال في التصنيف القياسي 5 من الكابلات الإيثرنت، الذي يعمل عادة في 100 ميكَابت / ثانية بالتناوب بسرعة 1 كَيكَابت / ثانية.

Fiber may be likewise resistant to electrical interference; there may be no cross-talk between signs in distinctive cables, What's more no pickup from claiming Ecological commotion. Non-armored fiber cables don't direct electricity, which makes fiber a great result for ensuring interchanges supplies to secondary voltage environments, for example, control era facilities, or metal correspondence structures inclined to lightning strikes. They could Additionally make utilized within situations the place hazardous vapor are present, without peril from claiming ignition

قد تكون الألياف البصرية مقاومة للتداخل الكهربائي (التشويش الكهربائي)؛ ومن مميزاته لا يكون هناك تداخل في الحديث بين الاشارات بين الكابلات، و أكثر من ذلك لا يمكن ان تستقبل الاضطرابات والتغيرات البيئية. وحتى كابلات الألياف غير المدرعة لاتنقل الطاقات الكهربائية، مما يجعل الألياف ضمان كبير لعدم التبادل بينها بالجهد الكهرباء ونحن نعرف ان هياكل المرسلات المعدنية تميل إلى حدوث ضربات البرق. ولهذا يمكن الاستفادة منها بالتوصيل في الاماكن الخطرة والحساسة التي تتواجد فيها الغازات والابخرة الخطرة دون حدوث الشرارة الكهربائية، وهذا يحدث دون خطر بمد كيبلات الالياف الضوئية، وهي تعتبر ايضا امنة من حيث عدم التنصت او تداخل انواع الاشارات بين الكيبلات .لهذه الاسباب والكثير منها تعتبر

loop. Wiretapping (in this case, fiber tapping) will be additional was troublesome contrasted with electrical connections, Furthermore there need aid concentric dual-core fibers that are said should a chance to be tap-proof.

الالياف البصرية هي الافضل لنقل الاشارات وبسرية تامة بين المناطق القريبة والبعيدة على حدٍ سواء.
وعلاوة على ذلك هناك حاجة الى ان تكون كيبلات الالياف متحدة المركز ثنائي النواة وبهذا سوف تكون الاشارة محمية داخل الليف البصري.

1.10 Applications of Optical Fiber Communications

10.1 تطبيقات الألياف البصرية في الاتصالات

Applications of optical fiber communications include telecommunications, data communications, video control and protection switching, sensors and power applications.

وتشمل تطبيقات اتصالات الألياف البصرية الاتصالات السلكية واللاسلكية، ونقل البيانات، والمراقبة الفيديوية وحماية التبادل وأجهزة الاستشعار وتطبيقات الطاقة.

1. Telephone networks

• Optical waveguide has low attenuation, high transmission bandwidth competed to copper lines, and therefore numbers of long haul co-axial trunks links between telephone exchanges are being replaced by optical fiber links.

1 - شبكات الهاتف

• الدليل الموجي البصري لديه توهين منخفض، وبهذا يكون عرض النطاق الترددي اعلى من خطوط النحاس، وبالتالي يتم استبدال عدد من الخطوط ذات المسافات الطويلة تربط بين التبادلات الهاتفية بوصلات الألياف الضوئية.

2. Urban broadband service networks

• Optical waveguide provides much larger bandwidth than co-axial cable, also the number of repeaters required is reduced considerably.

2. شبكات خدمات النطاق العريض في المناطق الحضرية (المدنية)

• يوفر الدليل الموجي الضوئي عرض النطاق الترددي أكبر بكثير من الكابل المحوري، كما يتم تقليل عدد من المكررات المطلوبة إلى حد كبير.

- Modern suburban communications involves videotext, videoconferencing video telephony, switched broadband communication network. All these can be supplied over a single fiber optic link. Fiber optic cables is the solution to many of today's high speed, high bandwidth data communication problems and will continue to play a large role in future telecom and data-com networks.

وتشمل الاتصالات الحديثة في الضواحي وجميع المناطق صوتاً او نصاً او بالفيديو، وعقد المؤتمرات عن طريق المهاتفة الفيديوية، وشبكة الاتصالات ذات النطاق العريض. كل هذه يمكن توفيرها عبر وصلة ألياف بصرية واحدة.
كابلات الألياف البصرية هو الحل لكثير من السرعة العالية، ومشاكل الاتصالات عرض النطاق الترددي العالي اليوم، وسوف تستمر في لعب دور كبير في المستقبل الاتصالات وشبكات قواعد البيانات.

1.11 Fundamentals of Optical Fiber Systems

11.1 أساسيات أنظمة الألياف البصرية

Optical fiber: an is a flexible, transparent fiber made by drawing glass (silica) or plastic to a diameter slightly thicker than that of a human hair. Optical fibers are used most often as a means to transmit light between the two ends of the fiber and find wide usage in fiber-optic communications, where they permit transmission over longer distances and at higher bandwidths (data rates) than wire cables. Fibers are used instead of metal wires because signals travel along them with lesser amounts of loss.

الألياف البصرية: هو الألياف المرنة والشفافة المصنوعة من خلال تصميم الزجاج (السيليكا) أو البلاستيك والتي يكون قطرها اقل قليلاً من سمك شعرة الإنسان. وتستخدم الألياف الضوئية في معظم الأحيان كوسيلة لنقل الضوء بين طرفي الألياف وتجد استخداما واسعاً في اتصالات الألياف البصرية حيث تسمح بالإرسال عبر مسافات أطول وعرض نطاق أعلى (معدلات البيانات) من كابلات الأسلاك. وتستخدم الألياف بدلا من الأسلاك المعدنية لأن الإشارات التي تسير على طول الليف لها كميات أقل من الخسارة.

Optical fibers typically include a transparent core surrounded by a transparent cladding material with a lower index of refraction. Light is kept in the core by the phenomenon of total internal reflection which causes the fiber to act as a

الألياف البصرية عادة ما يتضمن على المكونات الأساسية وهو اللب ويكون شفافة محاطة بمادة الكسوة شفافة ايضاً مع انخفاض معامل الانكسار حتى يحتفظ الضوء في اللب بسبب ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي الذي يسبب عمل الألياف البصرية لتكون بمثابة الدليل الموجي. وتسمى الألياف التي تدعم

waveguide. Fibers that support many propagation paths or transverse modes are called **multi-mode fibers (MMF)**, while those that support a single mode are called **single-mode fibers (SMF)**. Multi-mode fibers generally have a wider core diameter and are used for short-distance communication links and for applications where high power must be transmitted. Single-mode fibers are used for most communication links longer than 1,000 meters (3,300 ft).

العديد من مسارات الانتشار أو وسائط عرضية الألياف متعددة النمط **(MMF)**، في حين أن تلك التي تدعم وضع واحد تسمى الألياف أحادية النمط **(SMF)**.

والألياف ذات النمط المتعدد عموما لها قطر أساسي أوسع وتستخدم في وصلات الاتصالات لمسافات قصيرة وللتطبيقات التي يجب أن ترسل فيها قدرة عالية. وتستخدم الألياف أحادية النمط لمعظم وصلات الاتصال التي تزيد عن 1000 متر (3،300 قدم).

Fiber optics deals with study of propagation of light through transparent dielectric waveguides. The fiber optics are used for transmission of data from point to point location. Fiber optic systems currently used most extensively as the transmission line between terrestrial hardwired systems.

الألياف البصرية تتفق مع دراسة انتشار الضوء من خلال الدليل الموجي للعوازل الشفافة. وتستخدم الألياف البصرية لنقل البيانات من نقطة إلى نقطة موقع اخر. وتستخدم أنظمة الألياف البصرية المستخدمة حاليا على نطاق واسع كخط نقل بين الأنظمة الأرضية الثابتة.

The carrier frequencies used in conventional systems had the limitations in handling the volume and rate of the data transmission. The greater the carrier frequency larger the available bandwidth and information carrying capacity.

وكانت ترددات الموجات الحاملة المستعملة في الأنظمة التقليدية لها حدود في التعامل مع حجم ومعدل نقل البيانات. وكلما زاد تردد الموجة الحاملة، زاد عرض النطاق المتاح والقدرة على تحمل المعلومات.

When the light passes from air into water, the refracted ray is bent towards the perpendicular... When the ray passes from water to air it is bent from the perpendicular... If the

عندما يمر الضوء من الهواء إلى الماء، يقترب شعاع الانكسار نحو العمود المقام ... عندما يمر الشعاع من الماء إلى الهواء فإنه يبتعد من العمود المقام ... إذا كانت الزاوية بين الشعاع والعمود المقام في الماء أكبر من 48 درجة،

angle which the ray in water encloses with the perpendicular to the surface be greater than 48 degrees, the ray will not quit the water at all: it will be totally reflected at the surface.... The angle which marks the limit where total reflection begins is called the limiting angle of the medium. For **water this angle is 48°27′**, for **flint glass it is 38°41′**, while for **diamond it is 23°42′.**

فإن الشعاع لن يغادر او يخرج من الماء على الإطلاق: وسوف ينعكس تماما على السطح الداخلي للماء .... وتسمى الزاوية التي تحدد الحد عندما يبدأ فيه الانعكاس الكلي في الوسط بالزاوية الحرجة. فمثلاً هذه الزاوية للماء هي °48 '27 ، للزجاج الصوان°38 '41، في حين أن للماس هو °23 '42.

1.12 Signal Transport Mechanism

12.1 آلية نقل الإشارات

1.12.1 Total Internal Reflection

1.12.1 الانعكاس الداخلي التام

Consider a ray of light passing between two media of different refractive indexes n1 and n2 as shown in Fig.(1.7). If n1 > n2 the light ray as it passes from one media to the next will bend away from an imaginary line (the normal) perpendicular to the media's mating surface. Conversely if n1 < n2 then the ray will bend towards the normal. Total internal reflection occurs when n1 > n2 and the incident ray of light makes an angle, Θc, such that it does not enter the adjacent medium but travels along the interface. At angles greater than Θc the ray will be reflected back into medium A.

نعتبر ان شعاع الضوء يمر عبر مادتين مختلفتين لهما معامل إنكسار مختلفين n_1 و n_2 على التوالي كما هو مبين في الشكل (7.1). إذا $n_1 > n_2$ فأن شعاع الضوء عندما يمر من مادة إلى أخرى سوف ينحني بعيدا عن الخط الوهمي (القياسي) الذي يكون عمودي على السطح الفاصل بين المادتين. على العكس من ذلك إذا كان n1<n2 سوف ينحني الشعاع مقترب من الخط الوهمي. ويحدث الانعكاس الداخلي الكلي عندما يكون n1> n2 والشعاع الساقط للضوء يجعل زاوية، Θc، بحيث لا يدخل الوسط المجاور ولكنه يسير على طول السطح البيني. وفي زوايا أكبر من Θc سوف تنعكس الشعاع مرة أخرى الى داخل الوسط A. وسوف يتم شرح هذه النظرية بالتفصيل في القسم الاخير من الفصل الثاني.

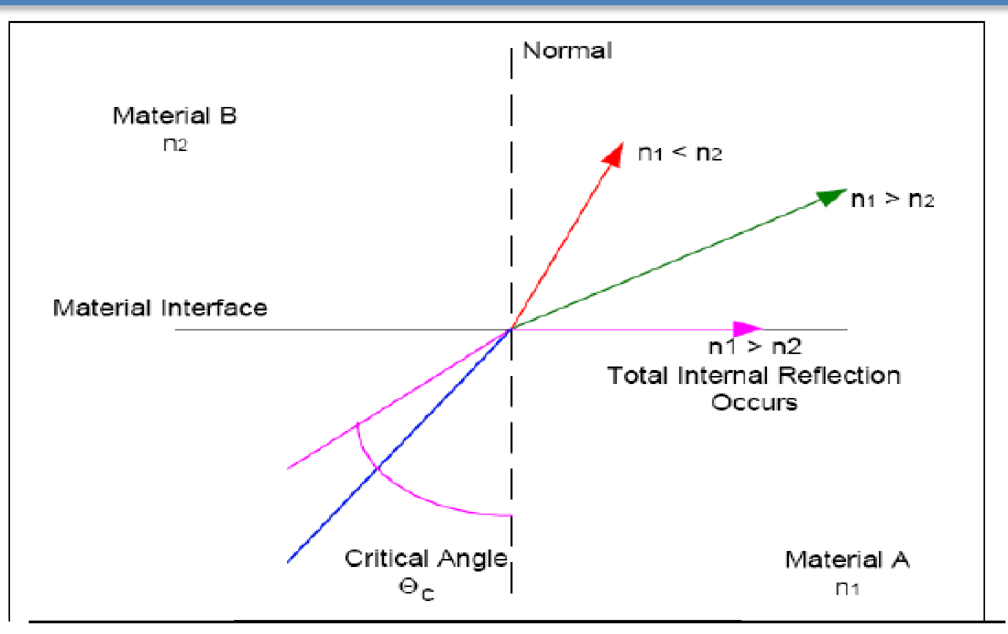


Figure 1.6: Total Internal Reflection.

1.12.2 Ray Theory 2.12.1 نظرية الشعاع

Light is confine within the core of the optical fiber through total internal reflection. To understand the phenomenon of total internal reflection and how it is responsible for the confinement of light in an optical fiber consider a ray of light incident on the fiber core as shown in Fig.(4).

Light enters the core of the optical fiber and strikes the core/cladding interface at an angle Θ. If this angle is greater than the critical angle (i.e. $\Theta \geq \Theta c$ where ($\sin \Theta c = n2/n1$) then the ray will reflect back into the core thus experiencing total internal reflection. This ray of light will continue to experience total internal reflection as it encounters core/cladding interfaces while propagating down the fiber.

من خلال انعكاس الداخلي الكلي يبقى الضوء داخل لب ألليف البصرية. ولفهم ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي وكيفية تكون مسؤوليتها عن بقاء الضوء في داخل الألياف الضوئية أنظر الى أشعة الضوء الساقطة على لب الألياف كما هو مبين في الشكل (8.1).

الضوء يدخل الى داخل لب الألياف البصرية ويضرب اللب ومن ثم الى واجهة الكسوة في زاوية Θ. وإذا كانت هذه الزاوية أكبر من الزاوية الحرجة (أي $\Theta \geq \Theta c$ حيث ($\sin \Theta c = n2/n1$))، فإن الشعاع سينعكس مرة أخرى داخل النواة وبالتالي يعاني من الانعكاس الداخلي الكلي. وسوف يستمر هذا الشعاع من الضوء بعملية الانعكاس الداخلي الكامل لأنه سيكون في مواجه مع الحد الفاصل بين اللب و الكسوة في حين يتم انتشار الضوء داخل الألياف.

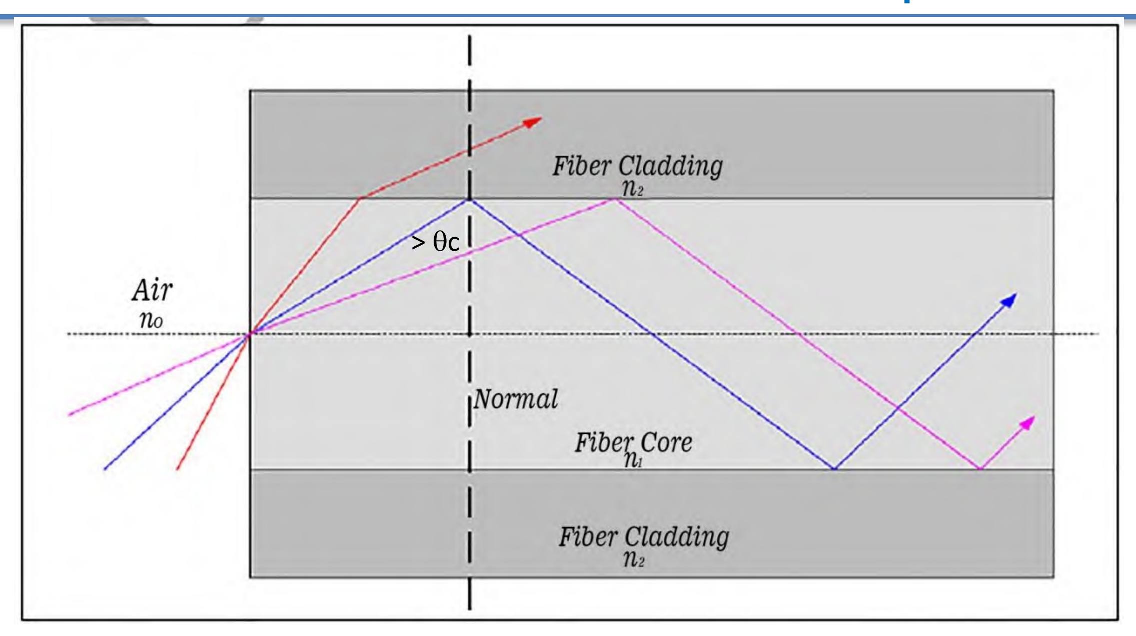


Figure 1.7: Light Propagates Through a Fiber Due To Total Internal Reflection.

1.13 Fiber Types

1.13.1Multi-Mode Fiber

Multi-mode fiber is named by its large core. On the order of 50 µm and 62.5 µm, multi-mode fiber allows multiple rays/modes to couple and propagate simultaneously down the fiber as demonstrated in Fig.(1.8). Large core fiber is attractive due to the ease in which light form a source can be coupled into the fiber, significantly reducing the cost of transmitter design and packaging. As will be discussed later, multimode fiber is very sensitive to dispersion, which tends to limit the distance and bandwidth of an optical system.

13.1 أنواع الألياف

1.13.1 الألياف متعدد الانماط

تسمى الألياف متعددة النمط بسبب قطر اللب الكبير مقارنة بالالياف ذات النمط المفرد. تقريباً يكون قطرها بين 50 ميكرون و62.5 ميكرون، الألياف متعددة النمط تسمح لأشعة متعددة الانماط بالانتشار في وقت واحد داخل الألياف كما هو مبين في الشكل (8.1).

ويكون مرغوب نظراً لكون لب الليف كبيرة ولسهولة مصدر الضوء المستخدم والتي يمكن أن يقترن إلى داخل الألياف، والتقليل بشكل كبير من تكلفة تصميم ارسال حُزم البيانات. وكما ستتم مناقشته لاحقا، فإن الألياف المتعددة حساسة جدا للتشتت، مما يميل إلى التقليل من المسافة وعرض النطاق الترددي للنظام البصري.

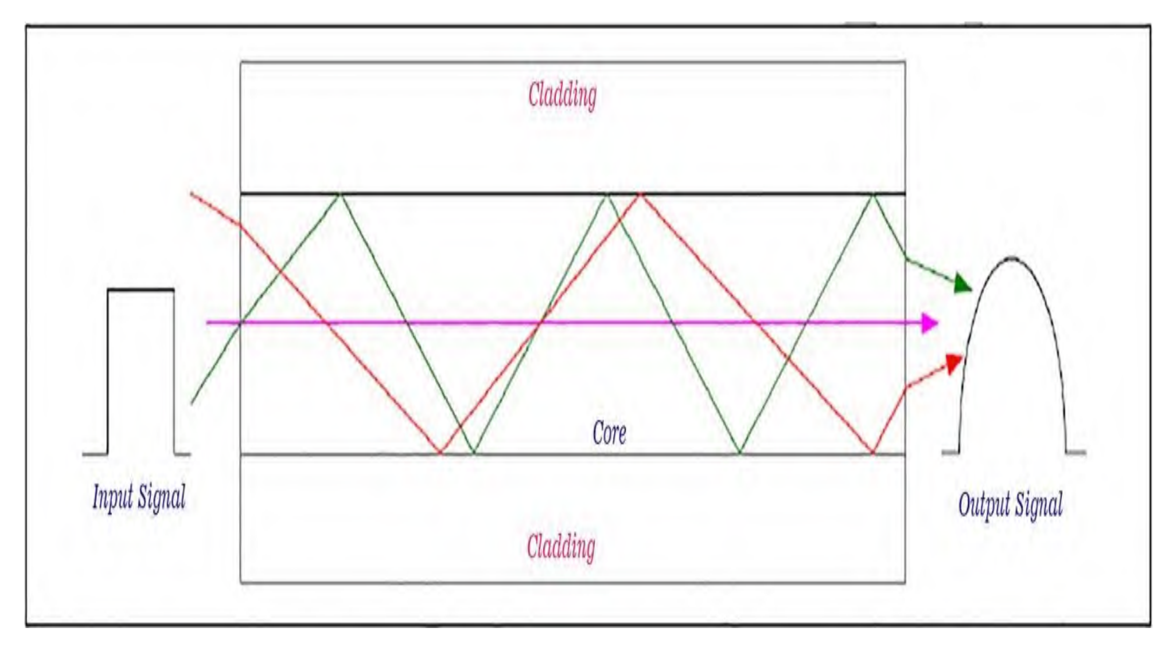


Figure 1.8: An input pulse is made up of multiple Modes/Rays.

An input pulse made up of multiple Modes/Rays. Each of the three rays takes different paths propagating through the core of the multi-mode fiber. As a result the three light rays shown arrive at different times causing broadening of the input pulse. This is known as dispersion and can lead to inter-symbol interference

نبضة الإدخال تتكون من أشعة انماط متعددة. كل من الأشعة الثلاثة تأخذ مسارات مختلفة تنتشر من خلال لب الألياف متعددة النمط. ونتيجة لذلك تصل أشعة الضوء الثلاثة الموضحة في الرسم اعلاه في أوقات مختلفة مما يؤدي إلى توسيع نبضة الإدخال. ويعرف ذلك بالتشتت ويمكن أن يؤدي إلى تداخل بين الرموز

Typical multimode fibers have a bandwidth-distance factor in excess of 200 MHz-km when an LED, operating in the 1300 nanometer (nm) window, is used as an optical source. A higher bandwidth-distance factor is possible when a laser source is used or if single-mode fiber is used. Higher bandwidths are possible with

والألياف المتعددة الانماط لها عامل عرض نطاق ترددي يزيد عن 200 ميغاهيرتز - كم عندما يستخدم الثنائي الباعث للضوء (LED)، الذي يعمل في نافذة 1300 نانومتر، كمصدر بصري. ويمكن تحقيق عامل عرض نطاق ترددي أعلى عند استخدام مصدر ليزري (LD) أو استخدام ألياف أحادية النمط. عرض النطاق الترددي العالي ممكن مع اختيار المصدر الأمثل أو من خلال استخدام الألياف أحادية النمط.

optimal source selection or through the use of single-mode fiber.

Multimode fiber optic cable has a large diametral core that allows multiple modes of light to propagate. Because of this, the number of light reflections created as the light passes through the core increases, creating the ability for more data to pass through at a given time. Because of the high dispersion and attenuation rate with this type of fiber, the quality of the signal is reduced over long distances. This application is typically used for short distance, data and audio/video applications in LANs. RF broadband signals, such as what cable companies commonly use, cannot be transmitted over multimode fiber.

وكابل الألياف البصرية المتعدد الانماط لديه لب كبير ثنائي النواة والذي يسمح لنشر انماط متعددة من الضوء. وبسبب هذا، فإن عدد الانعكاسات الضوء التي تم تكوينها مع مرور الضوء من خلال زيادة قطر اللب تزداد، وخلق القدرة على تمرير مزيد من البيانات من خلالها في وقت معين.

وبسبب ارتفاع معدل التشتت والتوهين مع هذا النوع من الألياف، تقل جودة الإشارة على مسافات طويلة.

يستخدم هذا التطبيق عادةً لمسافة قصيرة في نقل البيانات وتطبيقات الصوت / الفيديو في الشبكات المحلية. لا يمكن نقل إشارات النطاق العريض RF ، مثل ما تستخدمه شركات الكابلات عادة، عبر الألياف المتعددة.

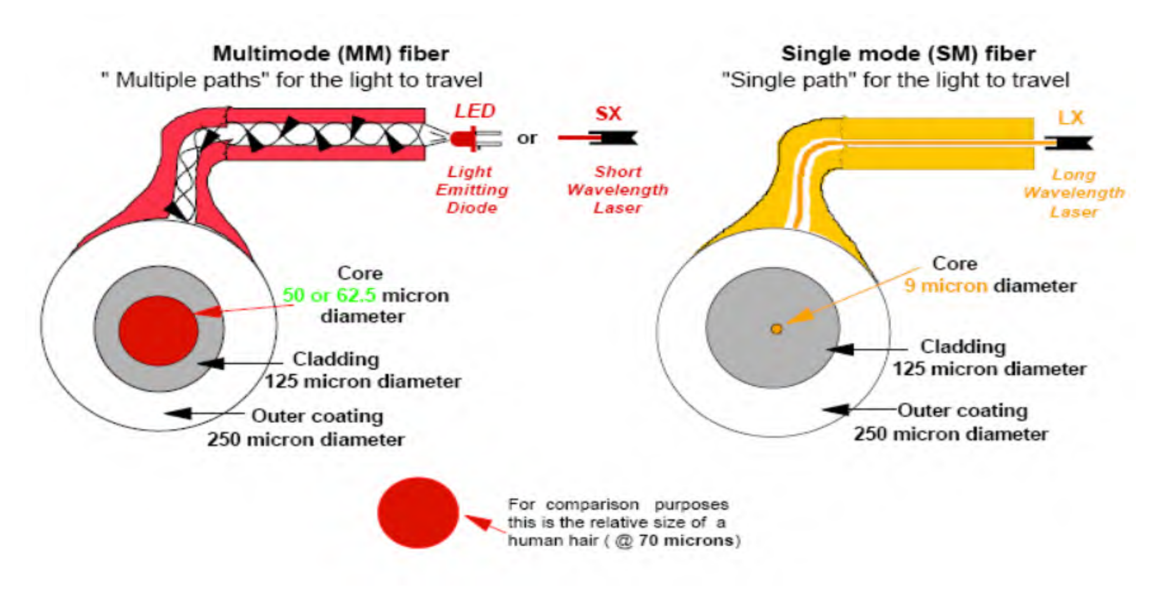


Figure 1.9: Shown multimode and single mode fiber.

1.13.2 Single-Mode Fiber

As the name implies, a single mode fiber only allows one ray/mode to propagate through the fiber core. This accomplished by shrinking the core of the fiber to dimensions comparable to that of the wavelength being transmitted. Single mode fiber has a core dimension of ~9µm making transmitter coupling much more difficult. Consequentially single mode fiber systems employ higher costing lasers. However, single mode fiber has an advantage of higher capacity/bandwidth and is much less sensitive to the effects of dispersion than multi-mode fiber. It is also possible to incorporate wavelength division multiplexing techniques to further increase the transmission capacity of a single-mode fiber.

2.13.1 الألياف ذات النمط الواحد

وكما يوحي الاسم، فإن الألياف ذات النمط الواحد تسمح فقط لنمط شعاع واحد بالنشر عبر لب الألياف. وقد يتحقق ذلك من خلال تقلص لب الألياف إلى أبعاد مماثلة لتلك التي يتم إرسالها من الطول الموجي.

الألياف ذات النمط الواحد لديها نصف قطر اللب حوالي 9µm مما يجعل اقتران المرسل أكثر صعوبة بكثير. وبالتالي، فإن أنظمة الألياف أحادية النمط تستخدم أجهزة ليزر ذات تكلفة أعلى.

ومع ذلك، فإن الألياف أحادية النمط تتميز بقدرة أعلى / عرض النطاق الترددي وهي أقل حساسية بكثير لتأثير التشتت من الألياف متعددة النمط. ومن الممكن أيضا دمج تقنيات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي لزيادة قدرة الإرسال للألياف أحادية النمط.

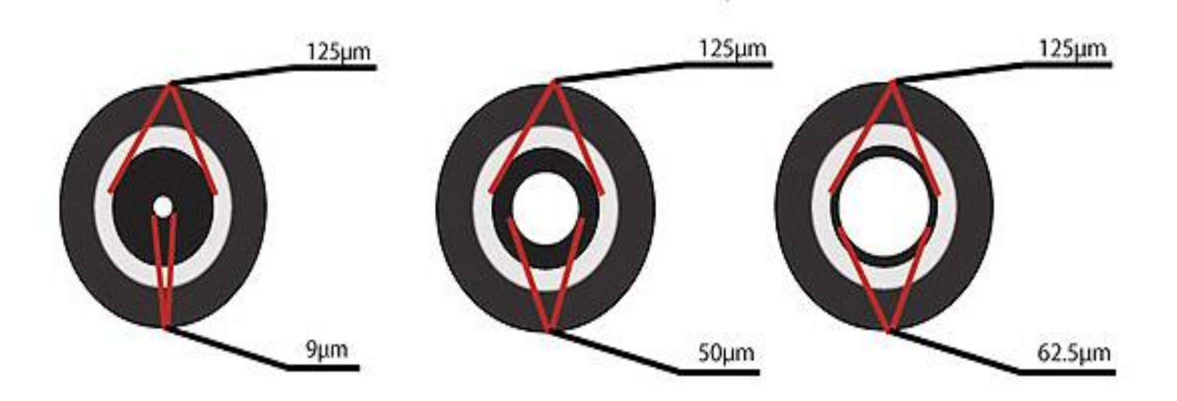


Figure 1.10: show Single Mode Fiber Optic Cable and Multimode Fiber Optic Cable.

Single Mode fiber optic cable has a small diameter core that allows only one mode of light to propagate. Because of this, the number of light reflections created as the light passes through the core decreases, lowering attenuation and creating the ability for the signal to travel further. This application is typically used in long distance, higher bandwidth runs by Telcos, CATV companies, and Colleges and Universities.

كابل الألياف البصرية ذات النمط المفرد لديه قطر صغير والذي يسمح فقط لنشر نمط واحد من الضوء. وبسبب هذا، فإن عدد انعكاسات الضوء التي تم إنشاؤها مع مرور الضوء من خلال قطر اللب الصغير، وخفض التوهين وخلق القدرة على نقل الإشارة إلى أبعد من ذلك. يستخدم هذا التطبيق عادة في مسافة طويلة، ويتم تطبيق عرض النطاق الترددي العالي من قبل شركة تيلكوس، الشركات الكيبل التلفزيوني، والكليات والجامعات.

Left: Single Mode fiber is usually 9/125 in construction. This means that the core to cladding diameter ratio is 9 microns to 125 microns.

في المثال اعلاه وعلى اليسار: بنية الألياف ذات النمط الواحد هو عادة 125/9. وهذا يعني أن نسبة قطر الجوهر (اللب) هو 9 ميكرون إلى نصف قطر الكسوة هو 125 ميكرون.

Typical single-mode bandwidth-distance factors are in excess of 20 gigahertz (GHz)-km with proper source selection. Several services (voice, data, and video) can be integrated into single digital bit streams for efficient transmission.

وتتجاوز العوامل النمطية لعرض النطاق الترددي للنمط الأحادي 20 كَيكَاهرتز - كيلومتر مع اختيار صحيح للمصدر. ويمكن دمج العديد من الخدمات (الصوت والبيانات والفيديو) في تدفقات بتات رقمية واحدة من أجل الإرسال الفعال.

The wide bandwidth capability of optical fiber reduces the costs of installing multiple cable runs to meet traffic requirements and justifies adding spare fibers in the initial system installation.

إن قدرة عرض النطاق العريض للألياف الضوئية تقلل من تكاليف تركيب شبكات متعددة للكابلات لتلبية متطلبات الحركة وتبرر إضافة ألياف احتياطية في تركيب النظام الأولي.

- Multimode fibers use a core
  - diameter of either 50 or 62.5 microns
  - Short wavelength lasers
  - Shorter distances (few hundred meters)

• تَستَخدم الألياف المتعددة الانماط والتي
- قطرها الأساسي إما 50 أو 62.5 ميكرون
- ليزر ذي الطول الموجي القصير
- مسافات أقصر (بضع مئات من الأمتار)

- Single mode fibers use a
  - core diameter of 9 microns
  - Long wavelength lasers
  - Longer distances (several kilometers)

• تستخدم ألياف النمط الأحادي
- قطرها الأساسي 9 ميكرون
- ليزر ذي الطول الموجي الطويل
- مسافات أطول (عدة كيلومترات)

Chapter 2

The Light

2 The Light

2.1 An overview of the properties of light

Light is part of the electromagnetic spectrum, which ranges from radio waves to gamma rays.

Electromagnetic radiation waves, as their names suggest are fluctuations of electric and magnetic fields, which can transport energy from one location to another. Visible light is not inherently different from the other parts of the electromagnetic spectrum with the exception that the human eye can detect visible waves.

Electromagnetic radiation can also be described in terms of a stream of photons which are massless particles each travelling with wavelike properties at the speed of light. A photon is the smallest quantity (quantum) of energy which can be transported and it was the realization that light travelled in discrete quanta that was the origins of Quantum Theory.

2 الضوء

1.2 لمحة عامة عن خصائص الضوء

الضوء هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي، الذي يتراوح بين موجات الراديو وأشعة گاما.

موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي، كما تشير أسماءهم هي ترددات المجالات الكهربائية والمغناطيسية، والتي يمكن نقل الطاقة من مكان إلى آخر. الضوء المرئي لا يختلف بطبيعته عن الأجزاء الأخرى من الطيف الكهرومغناطيسي باستثناء أن العين البشرية يمكنها الكشف عن الموجات المرئية.

ويمكن أيضا أن توصف الإشعاع الكهرومغناطيسي من حيث تدفق تيار من الفوتونات التي هي جزيئات متناهية في الصغر وتسير حاملة الخصائص الموجية بسرعة الضوء.

الفوتون هو أصغر كمية (الكم) من الطاقة يمكن نقلها وتوصف بفهم ان الضوء يسير في كوانت (كمية) منفصلة والتي كانت أصول نظرية الكم.

A photon is massless, has no electric charge, and is a stable particle. A photon has two possible polarization states.

الفوتون عديم الكتلة، وليس له شحنة كهربائية، وهو جسيم ثابت (مستقر). الفوتون لديه حالتين ممكنتين للاستقطاب.

In the momentum representation of the photon, which is preferred in quantum field theory, a photon is described by its wave vector, which determines its wavelength λ and its direction of propagation.

في تمثيل الزخم للفوتون، الذي يفضل في نظرية الحقل الكمومي، يتم وصف الفوتون بواسطة متجه الموجة التي يحدد طول الموجة λ واتجاه انتشارها.

Matter is composed of atoms, ions or molecules and it is light's interaction with matter which gives rise to the various phenomena which can help us understand the nature of matter. The atoms, ions or molecules have defined energy levels usually associated with energy levels that electrons in the matter can hold.

وتتكون المادة من ذرات أو أيونات أو جزيئات وتفاعل الضوء مع المادة هو الذي يؤدي إلى الظواهر المختلفة التي يمكن أن تساعدنا على فهم طبيعة المادة. وقد حددت الذرات أو الأيونات أو الجزيئات مستويات الطاقة المرتبطة عادة بمستويات الطاقة التي يمكن للإلكترونات في هذه المادة أن تشغلها.

Light can be generated by the matter or a photon of light can interact with the energy levels in a number of ways.

الضوء يمكن أن يتولد من هذه المادة أو يمكن لفوتون الضوء أن يتفاعل مع مستويات الطاقة في عدد من الطرق.

2.2 Properties of Light

2.2 خصائص الضوء

The properties of light waves:

خصائص موجات الضوء:

1- **Reflection:** When light waves all on a shiny surface they are reflected back. The angle of incidence and the angle of reflection is equal for a perfect reflection.

1- **الانعكاس:** عندما تَرتَد موجات الضوء من على سطح لامع فإنها تنعكس مرة أخرى. وتكون زاوية سقوط الشعاع تساوي زاوية انعكاس الشعاع.

2- **Refraction:** Light waves change speed when they change mediums or travel from one

2- **الانكسار**: تتغير سرعة موجات الضوء عند تغيير الوسط أو الانتقال من وسط إلى آخر. وبالتالي يحدث الانحناء في موجات

medium to another. Hence bending of light waves takes place.

الضوء.

3- **Dispersion:** As the light waves are made up of rays of different wavelength hence when they pass through prism we see all the 7 colors. Also it is visible in a rainbow due to dispersion form rain drops.

3- **التشتت:** تتكون الموجات الضوئية من أشعة مختلفة الطول الموجي وبالتالي عندما يمر الضوء الابيض عبر المنشور نراه يتحلل الى ألوانه السبعة. كما نرى ذلك الشكل في قوس قزح بسبب تشتت قطرات المطر.

4- **Diffraction:** is the slight bending of light as it passes around the edge of an object. The amount of bending depends on the relative size of the wavelength of light to the size of the opening. If the opening is much larger than the light's wavelength, the bending will be almost unnoticeable.

4- **الحيود:** هو الانحناء الطفيف في الضوء بسبب مرورة حول حافة جسم معين. يعتمد مقدار الانحناء على الحجم النسبي لطول موجة الضوء إلى حجم الفتحة. إذا كانت الفتحة أكبر بكثير من الطول الموجي للضوء، فإن الانحناء يكون غير ملحوظ تقريبا.

5- **Interference:** Light waves follow both constructive and destructive interference.

5-**التداخل:** الموجات الضوئية تتبع كل من التداخل البناء والتداخل الهدام.

In physics, interference is a phenomenon in which two waves superposed to form a resultant wave of greater, lower, or the same amplitude. Interference usually refers to the interaction of waves that are correlated or coherent with each other, either because they come from the same source or because they have the same or nearly the same frequency. Interference effects can be observed with all types of waves, for example, light, radio, acoustic,

في الفيزياء، التداخل هو ظاهرة تراكب بين موجتين لتشكيل موجة ناتجة أكبر او أقل أو نفس السعة.

ويشير التداخل عادة إلى تفاعل الموجات المترابطة أو المتماسكة مع بعضها البعض، إما لأنها تأتي من نفس المصدر أو لأن لها نفس التردد أو تقريبا نفس التردد.

يمكن ملاحظة تأثيرات التداخل مع جميع أنواع الموجات، على سبيل المثال، الضوء، الراديو، الصوتية، موجات المياه السطحية

surface water waves or matter waves.

أو موجات المادة.

6- Polarization: Polarization is an phenomena in which orientation of the waves are discussed.

6- **الاستقطاب:** الاستقطاب هو ظاهرة يناقش فيها اتجاه الموجات.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

f : Light frequency
C: The speed of light in the vacuum
C= $3x10^8$ m/sec
λ: Wave length

f: تردد الضوء
c: سرعة الضوء في فراغ
C= $3x10^8$ m/sec
λ: طول الموجة

Notes:

ملاحظات:

About 10^3-10^4 more information can be transmitted than by microwave.

حوالي أكثر من 10^4-10^3 من المعلومات يمكن أن تنتقل عن طريق الميكروويف.

Very short light pulses can be used to transmit bits of information.

نبضات ضوء قصيرة جدا يمكن استخدامها لنقل بت من المعلومات.

Information can be encoded using wavelength (or color).

يمكن ترميز المعلومات باستخدام الطول الموجي (أو اللون).

$$\text{Refractive index } n = \frac{\text{Speed of light in air}}{\text{Speed of light in medium}} = \frac{c}{v}$$

Multiplexing: use of single pathway to transmit simultaneously several signals which nonetheless retain their individuality.	**تعدد الإرسال:** استخدام مسار وحيد لإرسال عدد من إشارات في وقت واحد مع الاحتفاظ ببيانات كل اشارة.

2.3 Light –A Stream of Photons

3.2 الضوء هو تيار من الفوتونات

In some ways, visible light behaves like a wave phenomenon, but in other respects it acts like a stream of high-speed, submicroscopic particles.

في بعض النواحي، الضوء المرئي يتصرف مثل الظاهرة الموجية، ولكن في جوانب أخرى فإنه يعمل مثل تيار عالي السرعة، والجسيمات شبه المجهرية.

Isaac Newton was one of the first scientists to theorize that light consists of particles. Modern physicists have demonstrated that the energy in any electromagnetic field is made up of discrete packets. The term photon (meaning "visible-light particle") was coined for these energy packets.

كان إسحاق نيوتن واحدا من العلماء الاوائل الذين نظروا بأن الضوء يتكون من الجسيمات. وقد أثبت الفيزيائيون الحديثون أن الطاقة في أي مجال كهرمغناطيسي تتكون من حزم منفصلة. وقد صاغ مصطلح الفوتون (بمعنى "جسيم الضوء المرئي") لحزم الطاقة هذه.

Particle-like behavior is not restricted to the visible-light portion of the electromagnetic radiation spectrum, however.

غير أن السلوك الشبيه بالجسيمات لا يقتصر على جزء من الضوء المرئي لطيف الإشعاع الكهرومغناطيسي.

Radio waves, infrared rays, visible light, ultraviolet rays, X rays, and gamma rays all consist of photons, each of which contains a particular amount of energy that depends on the wavelength.

تتكون موجات الراديو والأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة كاما من فوتونات تحتوي كل منها على كمية معينة من الطاقة التي تعتمد على طول الموجة.

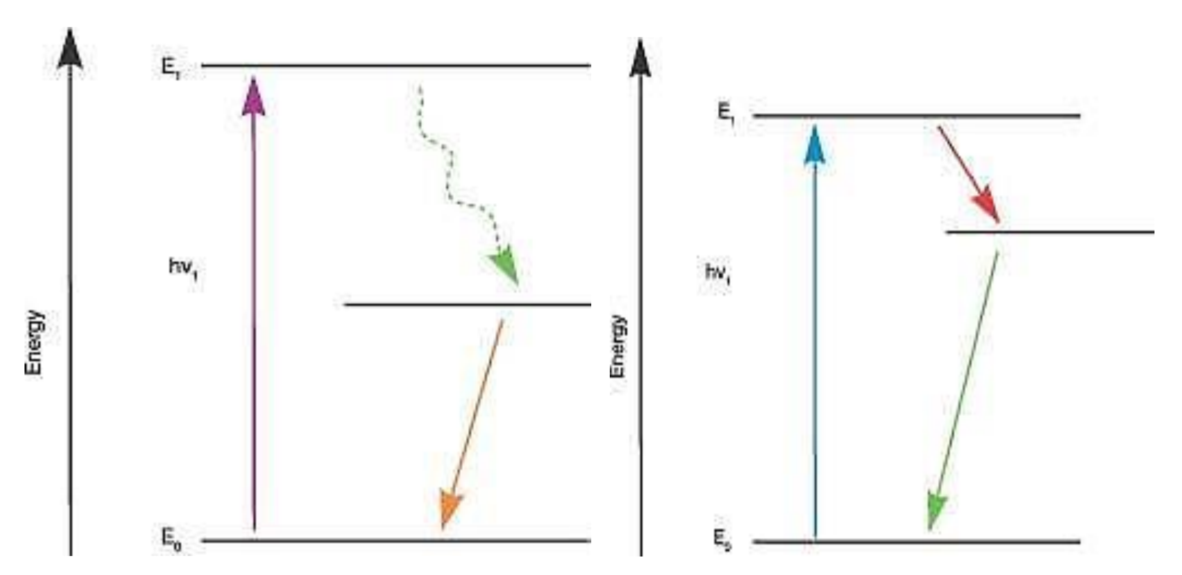


Figure 2.1: represents the energy levels in a diagram known as a Jablonski.

Planck's Law

We can represent the energy levels in a diagram known as a Jablonski diagram. An example of one is shown in the diagram above.

An atom or molecule in the lowest energy state possible known as the ground state can absorb a photon which will allow the atom or molecule to be raised to a higher energy level state or become excited.

Hence the matter can absorb light of characteristic wavelengths such as the blue light in the example on the right or the violet light in the example on the left.

As in the diagram above Figure 2.1.

The atom or molecule won't stay in an excited state so it relaxes back to the ground state by several ways. In the example on the right, the atom or molecule emits two photons both of lower energy than the absorbed photon.

The photons emitted will be a characteristic energy appropriate for a particular atom or compound and so by studying the light emission the matter under investigation can be determined.

In the example on the left the excited atom or molecule initially loses energy by not emitting a photon and instead relaxes to the lower energy state by internal

قانون بلانك

يمكننا تمثيل مستويات الطاقة في مخطط يعرف باسم الرسم البياني لـ(جابلونسكي). ومثال على ذلك في الرسم البياني أعلاه.

الذرة أو الجزيء في أدنى حالة الطاقة الممكنة المعروفة يسمى بالحالة الأرضية يمكن أن تمتص الفوتون الذي سيسمح الذرة أو الجزيء إلى أن تثار إلى مستوى أعلى من مستويات الطاقة أو يصبح متهيج.

وبالتالي فإن المادة يمكن أن تمتص الضوء من أطوال موجية مخصصة مثل الضوء الأزرق في المثال على اليمين أو الضوء البنفسجي في المثال على اليسار.

كما في الرسم البياني اعلاه شكل 1.2

الذرة أو الجزيء لن يبقى في حالة متهيج لذلك يرغب بالعودة إلى الحالة الأرضية من عدة طرق. في المثال الموجود على اليمين، تنبعث الذرة أو الجزيء من فوتون من طاقة أقل من الفوتون الممتص.

الفوتونات المنبعثة سوف تكون ذات طاقة مميزة مناسبة لذرة معينة أو مركب معين وذلك من خلال دراسة انبعاثات الضوء يمكن تحديد المادة قيد التحقيق.

في المثال على اليسار، ذرة متهيجة أو جزيء يفقد في البداية الطاقة من خلال عدم انبعاث الفوتون منها وبدلا من ذلك يرغب إلى الاستقرار أي تكون حالة الطاقة أقل من العمليات الداخلية قبل تسخين المادة.

processes which typically heat up the matter.

The intermediate energy level then relaxes to the ground state by the emission of a photon of orange light.

ينتقل من مستوى الطاقة المتوسطة الى ان يستقر في الحالة الأرضية عن طريق انبعاث الفوتون الضوء البرتقالي.

$E_p = hf$

Where,

E_p: energy of the photon (joules)

h: Planck’s constant = 6.625×10^{-34} J-s

f : frequency of light (photon) emitted (hertz)

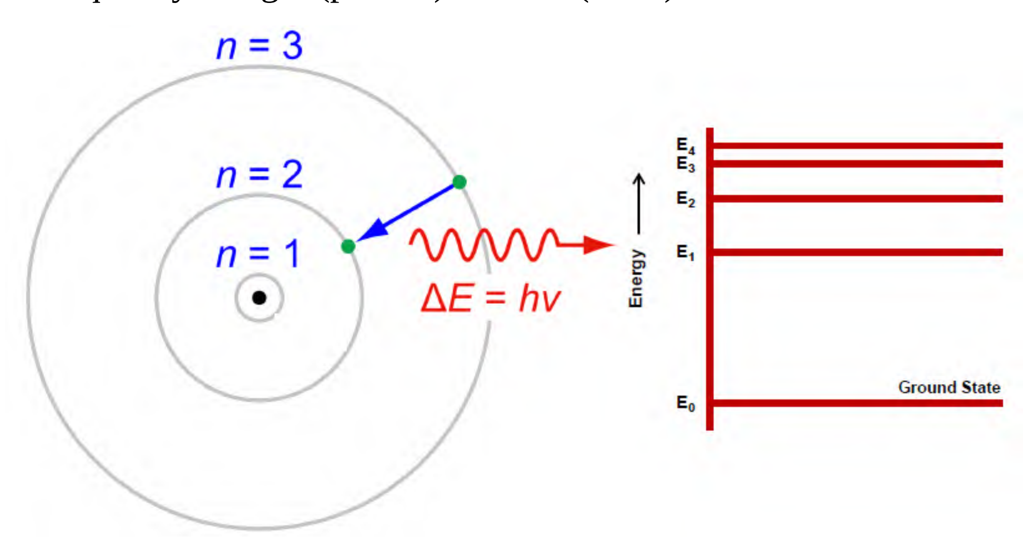


Figure 2.2: shows the energy release process of the atom.

$$\Delta E = E3 - E2 = h\nu$$

•This difference is released as a quantum of energy called photon.
• يتم تحرير هذا الفرق كمقدار من الطاقة يسمى الفوتون.

Since

$$\lambda = hc/(E3 - E2)$$

The wavelength (the color) of radiated light is determined by the energy levels of the radiating material
ويحدد طول الموجة (اللون) الضوء المشع بواسطة مستويات طاقة المادة المشعة

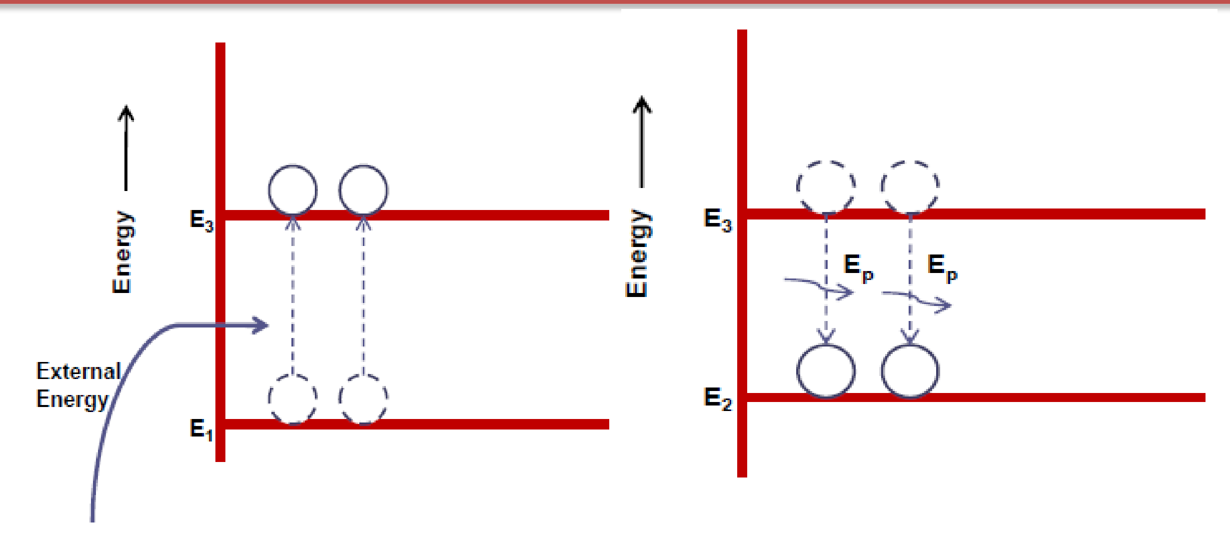


Figure 2.3: Shows the difference between pumping and radiation

Pumping The process of making atoms jump to higher levels by feeding them external energy	**Radiation** Atoms radiate energy (in the form of Photons) when jump down from higher energy levels to lower (more stable) energy levels
الضخ عملية انتقال الذرات إلى مستويات أعلى عن طريق التغذية بالطاقة الخارجية	إشعاع الذرات تشع طاقة (على شكل فوتونات) عندما تقفز من مستويات الطاقة العليا إلى مستويات الطاقة السفلى (أكثر استقرارا)

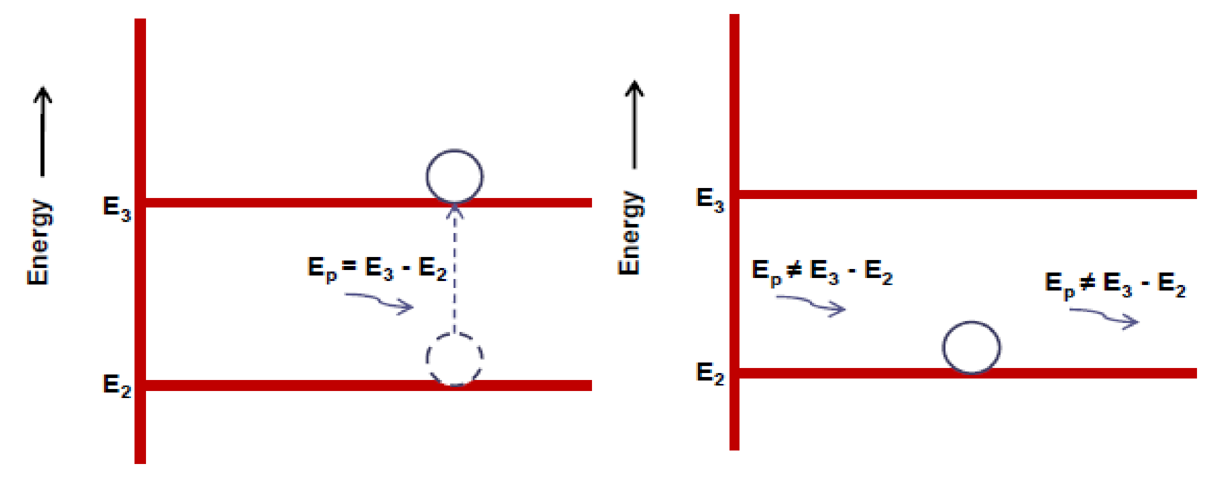


Figure 2.4: Shows the process of visual pumping.

2.4 Optical Pumping

4.2 الضخ البصري

Optical pumping is a process in which light is used to raise (or "pump") electrons from a lower energy level in an atom or molecule to a higher one. It is commonly used in laser construction, to pump the active laser medium so as to achieve the population inversion. The technique was developed by 1966 Nobel Prize winner Alfred Kastler in the early 1950s.

الضخ البصري هو عملية يستخدم فيها الضوء لرفع (أو "ضخ") الإلكترونات من مستوى طاقة أقل في ذرة أو جزيء إلى مستوى طاقة أعلى واحد. ويستخدم عادة في بناء الليزر، لضخ وسط الليزر النشط وذلك لتحقيق التأهيل العكسي وقد تم تطوير هذه التقنية من قبل ألفريد كاستلر في عام 1950 م في أوائل الخمسينات الحائز على جائزة نوبل عام 1966 م.

Optical pumping is also used to cyclically pump electrons bound within an atom or molecule to a well-defined quantum state.

كما يستخدم الضخ البصري أيضا الإلكترونات المضخة دوريا المقيدة داخل ذرة أو جزيء إلى حالة كمومية محددة جيدا.

For the simplest case of coherent two-level optical pumping of an atomic species containing a single outer-shell electron, this means that the electron is coherently pumped to a single hyperfine sublevel, which is defined by the polarization of the pump laser along with the quantum selection rules.

أما بالنسبة لأبسط حالة من الضخ البصري المتشاكه (المتماسك) من مستويين من الأنواع الذرية التي تحتوي على إلكترون وحيد في الغلاف الخارجي، فإن هذا يعني أن الإلكترون يتم ضخه بشكل متشاكة إلى مستوى فرعي منفرد، والتي يتم تعريفها من قبل استقطاب مضخة الليزر جنبا إلى جنب مع قواعد اختيار الكم.

Upon optical pumping, the atom is said to be oriented in a particular sublevel, however due to the cyclic nature of optical pumping the bound electron will actually be undergoing repeated excitation and decay between

عند الضخ الضوئي، يقال أن الذرة موجهة في مستوى فرعي معين، ولكن نظرا للطبيعة الدورية للضخ البصري، فإن الإلكترون المقيد سيخضع فعلا للإثارة المتكررة والتحلل بين مستويات الحالة العلوية والسفلية.

upper and lower state sublevels. The frequency and polarization of the pump laser determines which sublevel the atom is oriented in.

تردد واستقطاب الليزر المضخة يحدد في أي مستوى فرعي للذرة.

In practice, completely coherent optical pumping may not occur due to power-broadening of the linewidth of a transition and undesirable effects such as hyperfine structure trapping and radiation trapping.

في الناحية العملية، قد لا يحدث ضخ بصري متشاكه تماما بسبب اتساع الطاقة من عرض الخط بسبب الانتقال والآثار غير المرغوب فيها مثل محاصرة تركيب فائق الدقة ومحاصرة الإشعاع.

Therefore the orientation of the atom depends more generally on the frequency, intensity, polarization, spectral bandwidth of the laser as well as the linewidth and transition probability of the absorbing transition.

ولذلك فإن اتجاه الذرة يعتمد بشكل عام على التردد، والشدة، والاستقطاب، وعرض النطاق الطيفي لليزر، وكذلك عرض الخط واحتمال الانتقال بسبب تحول الامتصاصية.

An optical pumping experiment is commonly found in physics undergraduate laboratories, using rubidium gas isotopes and displaying the ability of radiofrequency (MHz) electromagnetic radiation to effectively pump and unpump these isotopes.

ويوجد عادة تجربة ضخ بصري في مختبرات الفيزياء الجامعية، باستخدام نظائر غاز الروبيديوم وعرض قدرة الترددات الراديوية للإشعاع الكهرومغناطيسي (MHz) لمضخة فعالة وإفراز هذه النظائر.

2.5 Optical Radiation

5.2 الإشعاع البصري

Optical radiation is part of the electromagnetic spectrum. It is subdivided into ultraviolet radiation (UV), the spectrum of light visible for man (VIS) and infrared radiation (IR). It ranges

الإشعاع البصري هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي. وهي مقسمة إلى الأشعة فوق البنفسجية (UV) وطيف الضوء المرئي للانسان (VIS) والأشعة تحت الحمراء (IR). وهي تتراوح بين أطوال موجية من 100 نانومتر إلى 1 مليمتر. الموجات

between wavelengths of 100 nm to 1 mm. Electromagnetic waves in this range obey the laws of optics--they can be focused and refracted with lenses, for example.

الكهرومغناطيسية في هذا النطاق تطبق قوانين البصريات - على سبيل المثال يمكن أن تركز الاشعة وتنكسر الاشعة بواسطة العدسات.

Effects

تأثيرات

Optical radiation may be produced by artificial sources, such as UV lights, common lightbulbs, and radiant heaters, but the primary source of exposure for most people is the sun. This exposure can result in negative health effects. All wavelengths across this range of the spectrum, from UV to IR, can produce thermal injury to the surface layers of the skin, including the eye. When it comes from natural sources, this sort of thermal injury might be called sunburn.

يمكن أن تنتج الإشعاع البصري من مصادر صناعية، مثل أضواء الأشعة فوق البنفسجية، والمصابيح الشائعة المنتشرة، والسخانات الإشعاعية، ولكن المصدر الرئيسي للتعرض لمعظم الناس هو الشمس. هذا التعرض يمكن أن يؤدي إلى آثار صحية سلبية. جميع الأطوال الموجية عبر هذا النطاق من الطيف، من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء، يمكن أن تنتج الإصابة الحرارية لطبقات السطح من الجلد، بما في ذلك العين. وعندما يتعلق الأمر بالمصادر الطبيعية، قد يطلق على هذا النوع من الإصابات الحرارية حروق الشمس.

However, thermal injury from infrared radiation could also occur in a workplace, such as a foundry, where such radiation is generated by industrial processes. At the other end of this range, UV light has enough photon energy that it can cause direct effects to protein structure in tissues, and is well established as carcinogenic in humans. Occupational exposures to UV light occur in welding and brazing operations, for example.

ومع ذلك، يمكن أن تحدث إصابات حرارية من الأشعة تحت الحمراء أيضا في اماكن العمل، مثل مسبك، حيث يتم توليد هذه الإشعاع من العمليات الصناعية. و في الطرف الآخر من هذا النطاق، ضوء الأشعة فوق البنفسجية لديها ما يكفي من طاقة الفوتون لأنه يسبب تأثيرات مباشرة على بنية البروتين في الأنسجة، ونتيجة التعرضات المهنية للأشعة فوق البنفسجية تحدث التأثرات المسرطنة في البشر على سبيل المثال في عمليات اللحام وعمليات الشدة والضغط.

Excessive exposure to natural or artificial UV-radiation means immediate (acute) and long-term (chronic) damage to the eye and skin. Occupational exposure limits may be one of two types: rate limited or dose limited.

التعرض المفرط للإشعاع فوق البنفسجي الطبيعي أو الاصطناعي يعني الأضرار الفورية (الحادة) والطويلة الأجل (المزمنة) للعين والجلد. قد تكون حدود التعرض المهني واحدة من نوعين: معدل محدود أو جرعة محدودة.

Rate limits characterize the exposure based on effective energy (radiance or irradiance, depending on the type of radiation and the health effect of concern) per area per time, and dose limits characterize the exposure as a total acceptable dose. The latter is applied when the intensity of the radiation is great enough to produce a thermal injury.

وتحدد حدود المعدلات للتعرض على أساس الطاقة الفعالة (الإشعاع أو التشعيع، تبعا لنوع الإشعاع والتأثير الصحي المقلق) لكل منطقة في الوقت الواحد، وتحدد حدود التعرض كجرعة مقبولة تماما. يتم تطبيق هذا الأخير عندما تكون شدة الإشعاع كبيرة بما فيه الكفاية لحدوث الإصابة الحرارية.

2.6 Types of Ionizing Radiation: 6.2 أنواع الإشعاع المؤين:

1-Alpha, 2-Beta, 3-Gamma, 4- X-Ray, 5-Neutron Radiation

Ionizing radiation takes a few forms: Alpha, beta, and neutron particles, and gamma and X-rays. All types are caused by unstable atoms, which have either an excess of energy or mass (or both). In order to reach a stable state, they must release that extra energy or mass in the form of radiation.

يأخذ الإشعاع المؤين بضعة أشكال: ألفا، بيتا، الجزيئات النيوترونية، أشعة كاما والأشعة السينية. وتنتج جميع الأنواع عن ذرات غير مستقرة، والتي لها إما فائض من الطاقة أوفائض من الكتلة (أو كليهما). من أجل الوصول إلى حالة مستقرة، يجب أن يحرر الطاقة الفائضة أو الكتلة الفائضة على شكل إشعاع.

Figure 2.5: Show Types of Ionizing Radiation.

2.6.1 Alpha Radiation

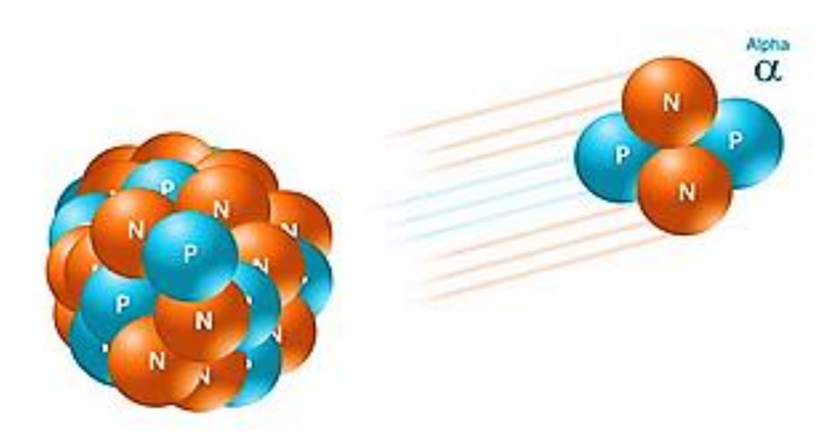


Figure 2.6: Show the emission of an alpha particle.

Alpha radiation: The emission of an alpha particle from the nucleus of an atom

إشعاع ألفا: انبعاث جسيم ألفا من نواة الذرة

Alpha radiation occurs when an atom undergoes radioactive decay, giving off a particle (called an alpha particle) consisting of two protons and two neutrons (essentially the nucleus of a helium-4 atom), changing the originating atom to one of an element with an atomic number 2 less and atomic weight 4 less than it started with.

يحدث الإشعاع ألفا عندما تتعرض الذرة للإضمحلال الإشعاعي، مما يمنح جسيمات (تسمى جسيم ألفا) تتكون من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات (وهي أساسا نواة ذرة الهيليوم-4)، وتغيير الذرة الناشئة إلى أحد العناصر مع العدد الذري اقل من 2 والوزن الذري اقل من 4 مما بدأ.

Due to their charge and mass, alpha particles interact strongly with matter, and only travel a few centimeters in air. Alpha particles are unable to penetrate the outer layer of dead skin cells, but are capable, if an alpha emitting substance is ingested in food or air, of causing serious cell damage.

وبسبب شحنتها وكتلتها، تتفاعل جسيمات ألفا بقوة مع المادة، ولا تنتقل سوى بضعة سنتيمترات في الهواء. الجسيمات ألفا غير قادرة على اختراق الطبقة الخارجية من خلايا الجلد الميتة، ولكنها قادرة، إذا كان تناولها كمادة ألفا، التي يتم تناولها في الطعام أو الهواء، مما تسبب في تلف خطير للخلايا.

Alexander Litvinenko is a famous example. He was poisoned by polonium-210, an alpha emitter, in his tea.

ألكسندر ليتفينينكو هو مثال مشهور. وقد سمم من قبل بولونيوم-210، بواسطة باعث ألفا، عندما وضع له في الشاي.

2.6.2 Beta Radiation

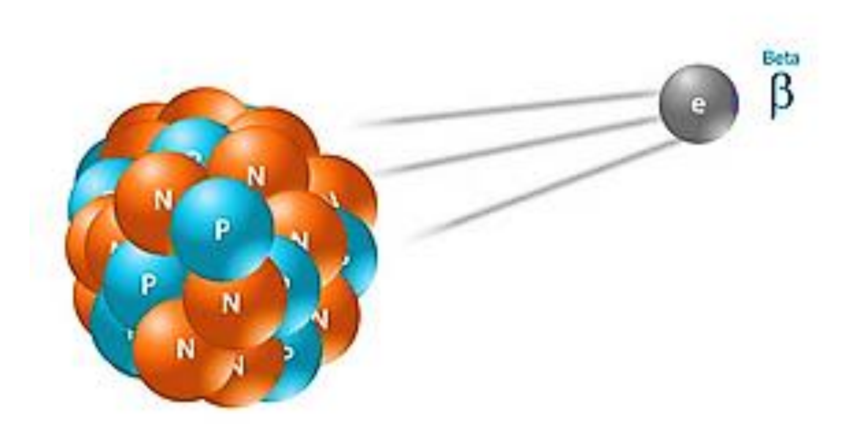


Figure 2.7: Show the emission of a beta particle from.

Beta radiation: The emission of a beta particle from the nucleus of an atom

إشعاع بيتا: انبعاث جسيم بيتا من نواة الذرة

Beta radiation takes the form of either an electron or a positron (a particle with the size and mass of an electron, but with a positive charge) being emitted from an atom. Due to the smaller mass, it is able to travel further in air, up to a few meters, and can be stopped by a thick piece of plastic, or even a stack of paper. It can penetrate skin a few centimeters, posing somewhat of an external health risk. However, the main threat is still primarily from internal emission from ingested material.

ويأخذ إشعاع بيتا شكل إما إلكترون أو بوزيترون (وهو جسيم بحجم وكتلة إلكترون، ولكن مع شحنة موجبة) ينبعث من الذرة. بسبب الكتلة الأصغر حجما، فهي قادرة على المسير أبعد من ذلك في الهواء، على بعد بضعة أمتار، ويمكن أن يتوقف عن طريق قطعة سميكة من البلاستيك، أو حتى مجموعة من الاوراق. يمكن أن تخترق الجلد بضعة سنتيمترات، مما يشكل نوعا ما من المخاطر الصحية الخارجية. ومع ذلك، فإن التهديد الرئيسي لا يزال أولا من الانبعاثات الداخلية من المواد التي يتم تناولها.

2.6.3 Gamma Radiation

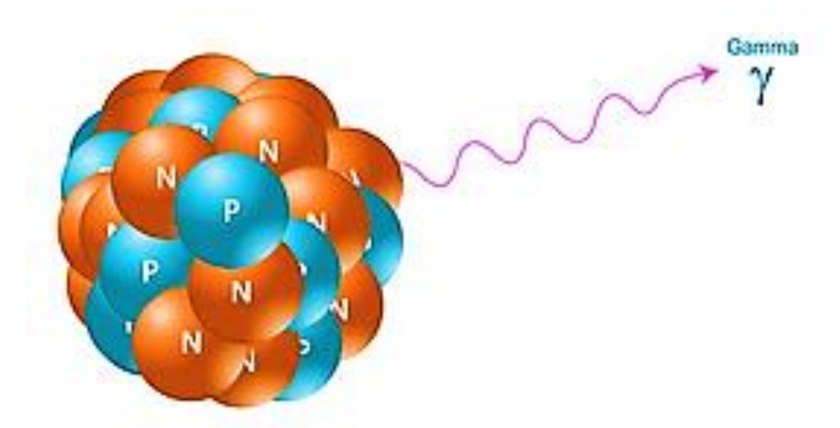


Figure 2.8: Show the emission of a high-energy wave.

Gamma radiation: The emission of a high-energy wave from the nucleus of an atom

أشعة گاما: إنبعاث موجة عالية الطاقة من نواة الذرة

Gamma radiation, unlike alpha or beta, does not consist of any particles, instead consisting of a photon of energy being emitted from an unstable nucleus. Having no mass or charge, gamma radiation can travel much farther through air than alpha or beta, losing (on average) half its energy for every 500 feet. Gamma waves can be stopped by a thick or dense enough layer material, with high atomic number materials such as lead or depleted uranium being the most effective form of shielding.

لا يتكون إشعاع گاما، من أي جزيئات على عكس ألفا أو بيتا، ، بدلا من ذلك يتكون من فوتون من الطاقة التي تنبعث من نواة غير مستقرة. وبسبب عدم وجود أي كتلة أو شحنة، يمكن أن تنتقل أشعة گاما إلى أبعد بكثير من ألفا أو بيتا خلال الهواء، وتفقد (في المتوسط) نصف طاقتها لكل 500 قدم. يمكن وقف موجات گاما بواسطة مادة طبقة سميكة أو كثيفة بما يكفي، مع وجود مواد ذرية عالية مثل الرصاص أو اليورانيوم المستنزف كونه الشكل الأكثر فعالية بسبب الحماية.

2.6.4 X-Rays

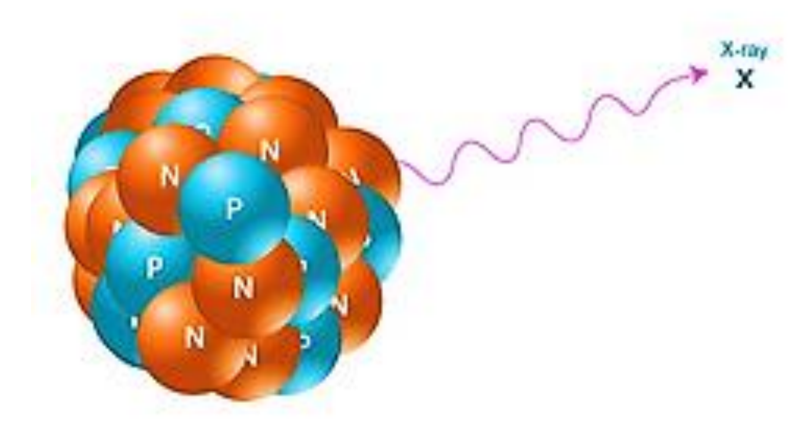


Figure 2.9: show the emission of a high energy wave from the electron cloud of an atom.

X-Rays: The emission of a high energy wave from the electron cloud of an atom

الأشعة السينية: انبعاث موجة طاقة عالية من سحابة الإلكترون من الذرة

X-rays are similar to gamma radiation, with the primary difference being that they originate from the electron cloud. This is generally caused by energy changes in an electron, such as moving from a higher energy level to a lower one, causing the excess energy to be released. X-Rays are longer-wavelength and (usually) lower energy than gamma radiation, as well.

وتشبه الأشعة السينية إشعاع كَاما، مع الاختلاف الأساسي في أنها تنشأ من سحابة الإلكترون. ويرجع ذلك عموما إلى تغيرات الطاقة في الإلكترون، مثل الانتقال من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى، مما يؤدي إلى انبعاث الطاقة الزائدة. الأشعة السينية هي ذات الطول الموجي الأطول و (عادة) تكون طاقتها أقل من إشعاع كَاما، كذلك.

2.6.5 Neutron Radiation

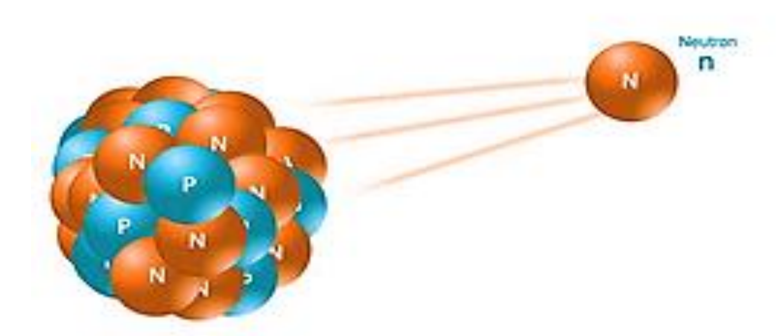


Figure 2.10: Show the emission of a neutron from the nucleus of an atom.

Neutron radiation: The emission of a neutron from the nucleus of an atom

الإشعاع النيوتروني: انبعاث النيوترون من نواة الذرة

Neutron radiation consists of a free neutron, usually emitted as a result of spontaneous or induced nuclear fission. Able to travel hundreds or even thousands of meters in air, they are however able to be effectively stopped if blocked by a hydrogen-rich material, such as concrete or water.

يتكون الإشعاع النيوتروني من نيوترون حر، ينبعث عادة نتيجة الانشطار النووي التلقائي أو المستحث. قادرة على السير مئات أو حتى آلاف الأمتار في الهواء، إلا أنها قادرة على أن تتوقف بشكل فعال إذا تم حظرها من قبل المواد الغنية بالهيدروجين، مثل الخرسانة أو الماء.

Not typically able to ionize an atom directly due to their lack of a charge, neutrons most commonly are indirectly ionizing, in that they are absorbed into a stable atom, thereby making it unstable and more likely to emit off ionizing radiation of another type. Neutrons are, in fact, the only type of radiation that is able to turn other materials radioactive.

وعادة ما تكون النيوترونات غير قادرة على تأين الذرة مباشرة بسبب عدم وجود شحنة، إلا أن النيوترونات الأكثر شيوعا تكون مؤينة بشكل غير مباشر، حيث أنها تمتص في ذرة مستقرة، مما يجعلها غير مستقرة وأكثر عرضة للانبعاث من الإشعاع المؤين من نوع آخر. النيوترونات هي، في الواقع، النوع الوحيد من الإشعاع القادر على تغير المواد المشعة الأخرى.

2.7 Types of Waves

7.2 أنواع الموجات

Waves are around us. It can be Sound waves, string waves, radio waves, visible light waves, water waves, microwaves, sine waves, stadium waves, earthquake waves, cosine waves, and slinky waves are some.

الموجات من حولنا. يمكن أن تكون موجات صوتية، سلسلة موجات، موجات الراديو، موجات الضوء المرئية، موجات المياه، موجات الميكروويف، الموجات الجيبية، الموجات الطورية ، موجات الزلزال، موجات جيب التمام والموجات النادرة .

All waves are generated through disturbance; for example, when a rock is thrown in water or a boat is moved through water. These water waves have mainly two parts that are called crest and trough through which the wave is travelled from one location to other location. Each crest is followed by second crest which is again followed by next crest. These crests are separated by a trough to generate a pattern of crests and troughs. In physics, waves are defined as periodical disturbance which are propagated through a particular medium.

وتولد جميع الموجات من خلال الاضطراب. على سبيل المثال، عندما يتم طرح حجر في الماء أو يتم نقل قارب من خلال الماء. هذه الموجات المائية لها أساسا جزئين تسمى قمة والقعر والذي يتم من خلالها توجيه الموجة من موقع إلى موقع آخر.

ويتبع كل قمة قمة ثانية الذي يعقبه أيضا قمة اخرى.

يتم فصل هذه القمم عن طريق القعر لتوليد نمط من القمم والقعر. في الفيزياء، تعرف الموجات بأنها اضطرابات دورية تنتشر عبر وسط معين.

Waves Can be Classified Into Three Types:

ويمكن تصنيف الموجات إلى ثلاثة أنواع:

1- Mechanical waves

1- موجات ميكانيكية

Mechanical Waves act as the propagation of a disturbance through a material medium due to the repeated periodic motion of the particles of the medium about their mean positions, the disturbance being handed over from one particle to the next.

وتعمل الموجات الميكانيكية كانتشار للاضطراب من خلال وسط مادي بسبب الحركة الدورية المتكررة لجسيمات الوسط حول مواضعها المتوسطة، ويتم تسليم الاضطراب من جسيم إلى آخر.

2- Electromagnetic waves

2- الموجات الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Waves are the disturbance, which does not require any material medium for its propagation and can travel even through vacuum.

الموجات الكهرومغناطيسية هي الاضطراب، الذي لا يتطلب أي وسيلة مادية لانتشاره ويمكن أن ينتقل حتى من خلال الفراغ.

They are caused due to varying electric and magnetic fields.

وهي تنشأ بسبب اختلاف المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

3- Matter waves

3- موجات المادة

Matter Waves are the waves produced in electrons and particles.

موجات المادة هي الموجات التي تنتج في الإلكترونات والجسيمات.

2.7.1 Mechanical Waves

1.7.2 الموجات الميكانيكية

The existence of medium is essential for propagation. The Method of energy propagation in which disturbance propagates with definite velocity without changing its form is called Mechanical Wave.

وجود وسط ضروري للانتشار. طريقة انتشار الطاقة التي تنتشر فيها الاضطرابات بسرعة محددة دون تغيير شكلها تسمى بالموجة الميكانيكية.

Energy and momentum propagates by motion of particles of medium. But medium remains at previous position. The mass transfer does not take possible here. The Propagation is possible due to property of medium like elasticity and inertia.

الطاقة والزخم ينتشر عن طريق حركة جزيئات الوسط. ولكن لا يزال الوسط في الموضع نفسة. ونقل الكتلة لا يمكن أن يكون ممكنا هنا. ويكون الانتشار ممكن بسبب خاصية الوسط مثل المرونة والقصور الذاتي.

Examples: vibration of string, vibration of string, the surface wave produced on the surface of solid and liquid, sound waves, tsunami waves, earthquake P-waves, ultra sounds, vibrations in gas, and oscillations in spring, internal water waves etc.

أمثلة: اهتزاز السلسلة، الموجة السطحية المنتجة على سطح الصلبة والسائلة، الموجات الصوتية، موجات تسونامي، موجات الزلزال P، الأصوات الفائقة، الاهتزازات في الغاز، التذبذبات في النابض و موجات الماء الداخلية.

Mechanical waves are of two types:	**الموجات الميكانيكية على نوعين:**
1-Transverse Wave	1- الموجة المستعرضة.
2-Longitudinal Wave.	2- الموجة الطولية.

1-Transverse Waves:

The medium has particles that vibrate in a direction perpendicular to the direction of the propagation of wave. This Kind of wave produced is called Transverse Wave.

1- الموجة المستعرضة:

يحتوي الوسط على جزيئات تهتز في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة. ويسمى هذا النوع من الموجة الناتجه بالموجة المستعرضة.

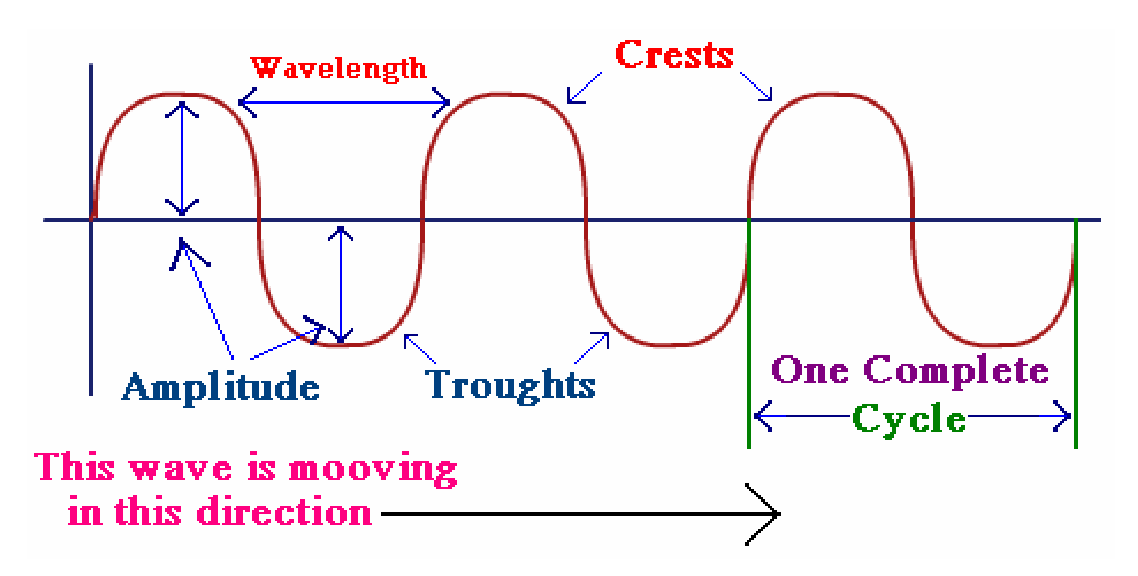


Figure 2.11: Represents Transverse Wave.

Here the formation of crust and trough takes place. Here the direction of propagation of energy is perpendicular to the direction of oscillations.

هنا يتم تشكيل القمة والقاع. وهنا ايضاً اتجاه انتشار الطاقة عمودي على اتجاه التذبذبات.

There are always two directions that are independent of each other that can be used as the direction of wave.

دائما هناك اتجاهين والتي يكونان مستقلة بعضهما عن البعض الاخر و التي يمكن استخدامها كمتجه للموجة.

For example: vibration of string.

على سبيل المثال: اهتزاز السلسلة.

2. Longitudinal Waves

2. الموجات الطولية

Consider a wave moving. if the vibration of the particles of the medium are in the direction of wave propagation. We call it as Longitudinal Waves.

نعتبر هناك موجة تتحرك. فإذا كان اهتزاز جسيمات الوسطة في اتجاه انتشار الموجة. سوف نسميها بالموجات الطولية.

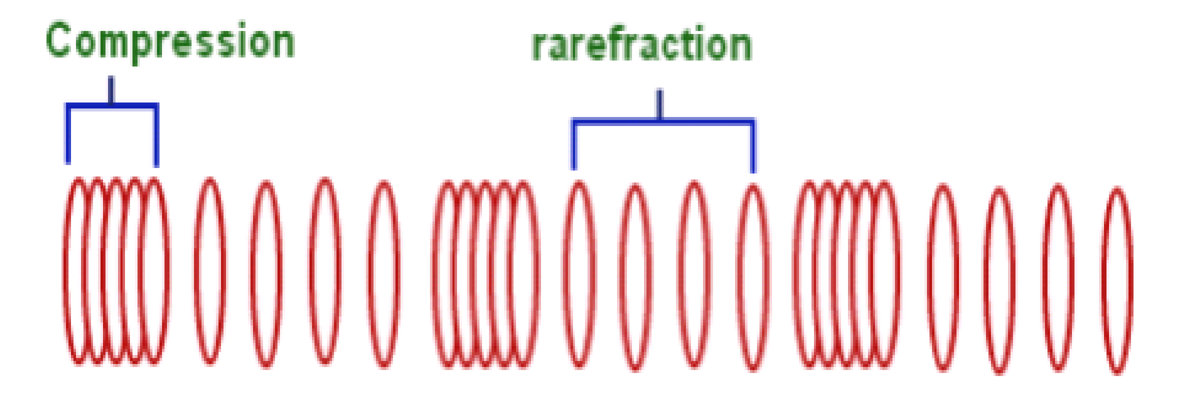


Figure 2.12: Represents Longitudinal Waves.

A Longitudinal wave proceeds in the form of compression and rarefaction which is the stretched rubber band.

الموجة الطولية الناتجة من شكل ضغط و تخلخل مثل الشريط المطاطي الممتد.

For a longitudinal wave at places of compression the pressure and density tends to be maximum, while at places where rarefaction takes place, the pressure and density are minimum. Longitudinal waves are known as Compression waves.

وبالنسبة للموجة الطولية في أماكن الضغط، يميل الضغط والكثافة إلى الحد الأقصى، بينما في الأماكن التي يحدث فيها الخلخلة، يكون الضغط وكثافة في الحد الأدنى. اذا تعرف الموجات الطولية بموجات الضغط.

Examples of longitudinal waves : Sound waves, tsunami waves, earthquake ,P - waves, ultra sounds, vibrations in gas, and oscillations in spring, internal

أمثلة على الموجات الطولية: موجات صوتية، موجات تسونامي، زلزال، موجات P، أصوات فائقة، اهتزازات في الغاز، وتذبذبات في النابض، موجات مائية داخلية، وموجات في خزانات مياه الصرف الصحي

water waves, and waves in slink etc.

داخل الارض.

In gases only longitudinal waves propagate.

في الغازات تنتشر فقط الموجات الطولية.

2.7.2 Electromagnetic Waves

2.7.2 الموجات الكهرومغناطيسية (E.M)

Properties of Electromagnetic Waves

خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

1- The existence of medium is not essential for propagation.

1- ليس من الضروري وجود وسط للانتشار.

2- Periodic changes take place in electric and magnetic fields. Hence it is called electromagnetic wave.

2- تحدث التغيرات الدورية في المجالات الكهربائية والمغناطيسية. وبهذا يطلق عليها الموجة الكهرومغناطيسية.

3- In vacuum, E.M waves travel with light velocity.

3. تسير الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة الضوء.

4- E.M waves can be polarized.

4- الموجات الكهرومغناطيسية يمكن استقطابها.

5- E.M waves are transverse in nature.

5- الموجات الكهرومغناطيسية لها صفة عرضية.

6- Medium is not required for propagating the E.M waves.

6 - لا يتطلب وجود الوسط لانتشار الموجات الكهرومغناطيسية.

7- E.M waves have momentum.

7- الموجات الكهرومغناطيسية لها زخم.

8- The velocity in vacuum is 3 × 108 m/s.

8- السرعة في الفراغ هي 3×10^8 م / ث.

9- There is no deflection on account of magnetic or electric field.

9- لا يوجد انحراف بسبب المجال المغناطيسي أو الكهربائي.

10- They can exhibit diffraction and interference.

10- يمكن أن تظهر في الموجات الكهرومغناطيسية الحيود والتداخل.

11- For electromagnetic wave:

$$c = v\,\lambda$$

11- سرعة الموجة الكهرمغناطيسية:

$$c = v\,\lambda$$

Where V : Velocity of light,

λ : Wavelength of light.

V : سرعة الضوء

λ : الطول الموجي للضوء

12-Example : Radio waves, light waves, thermal radiation, X ray etc.

12- مثال على الموجات الكهرومغناطيسية: موجات الراديو، موجات الضوء، الإشعاع الحراري، الأشعة السينية..... الخ.

The electromagnetic waves that compose electromagnetic radiation can be imagined as a self-propagating transverse oscillating wave of electric and magnetic fields.

ويمكن تصور الموجات الكهرومغناطيسية التي تشكل الإشعاع الكهرومغناطيسي كموجة ذاتية التذبذب عرضية تنتشر بسبب المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

The electric field is in a vertical plane and the magnetic field in a horizontal plane.

المجال الكهربائي في المستوي العمودي والمجال المغناطيسي في المستوى الأفقي.

The electric and magnetic fields in EMR waves are always in phase and at 90 degrees to each other.

المجالات الكهربائية والمغناطيسية هي في طور وتكون احدهما عمودي على الاخر بزاوية 90 درجة.

This diagram shows a plane linearly polarized EMR wave propagating from left to right.

ويبين في هذا الرسم البياني موجة مستقطبة خطيا بأتجاه انتشار من اليسار إلى اليمين.

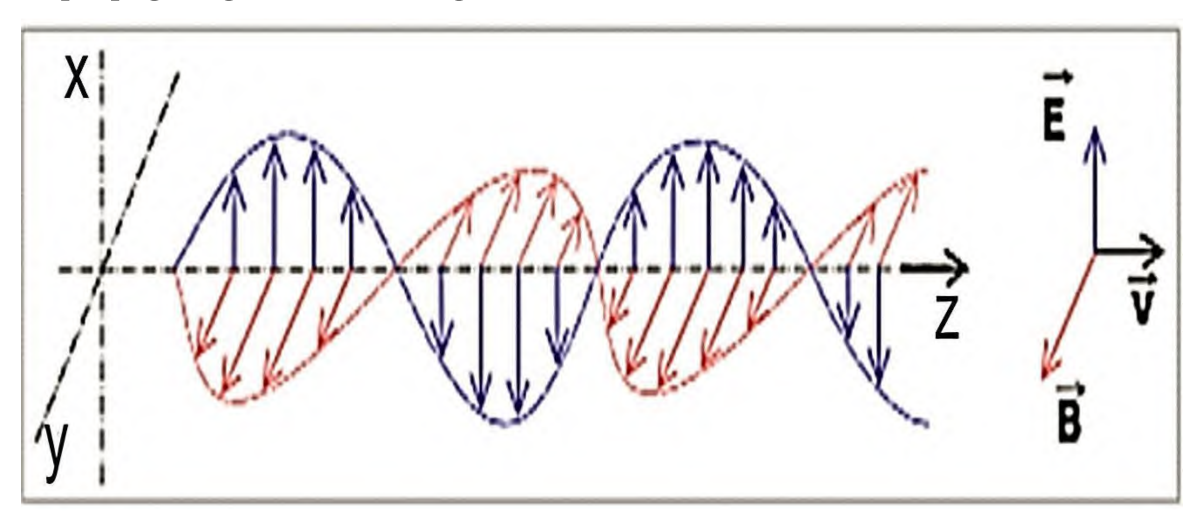


Figure 2.13: Illustrate the Electric and Magnetic Fields.

Definition of electromagnetic wave:

تعريف الموجة الكهرومغناطيسية:

one of the waves that are propagated by simultaneous periodic variations of electric and magnetic field intensity and that include radio waves, infrared, visible light, ultraviolet, X-rays, and gamma rays

واحدة من الموجات التي يتم نشرها من خلال التغير الدورية المتزامنة لشدة المجال الكهربائي والمغناطيسي والتي تشمل الموجات الراديوية، الأشعة تحت الحمراء، الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة السينية وأشعة كَاما

• The radio waves and light are electromagnetic waves. The rate at which they alternate in polarity is called their frequency (f) measured in hertz (Hz). The speed of electromagnetic wave (c) in free space is approximately 3 x 10^8 m/sec. The distance travelled during each cycle is called as wavelength (λ)

• موجات الراديو والضوء هي موجات كهرومغناطيسية. ويسمى المعدل الذي يتناوبون فيه بالقطبية وترددهم (f) المقاس بالهرتز. سرعة الموجة الكهرومغناطيسية (c) في الفضاء الحر حوالي 3×10^8 متر/ ثانية. وتسمى المسافة المقطوعة خلال كل دورة بالطول الموجي (λ)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

ν = frequency of light
(≈ 200 THz in fiber optics)
λ =wavelength
c = light velocity in vacuum
($3\cdot10^8$ m/s)

•In fiber optics, it is more convenient to use the wavelength of light instead of the frequency with light frequencies; wavelength is often stated in microns or nanometers.

• في الألياف البصرية، من الأنسب استخدام الطول الموجي للضوء بدلا من التردد بترددات ضوئية، وغالبا ما يذكر الطول الموجي في ميكرون أو نانومتر.

• Fiber optics uses visible and infrared light. Infrared light covers a fairly wide range of wavelengths and is generally used for all fiber optic communications. Visible light is normally used for very short range transmission using a plastic fiber.

• تستخدم الألياف البصرية الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء. ويغطي ضوء الأشعة تحت الحمراء مجموعة واسعة إلى حد ما من الأطوال الموجية ويستخدم عموما لجميع الاتصالات الألياف البصرية. يستخدم الضوء المرئي عادة لنقل للمسافات القصيرة جدا باستخدام الألياف البلاستيكية.

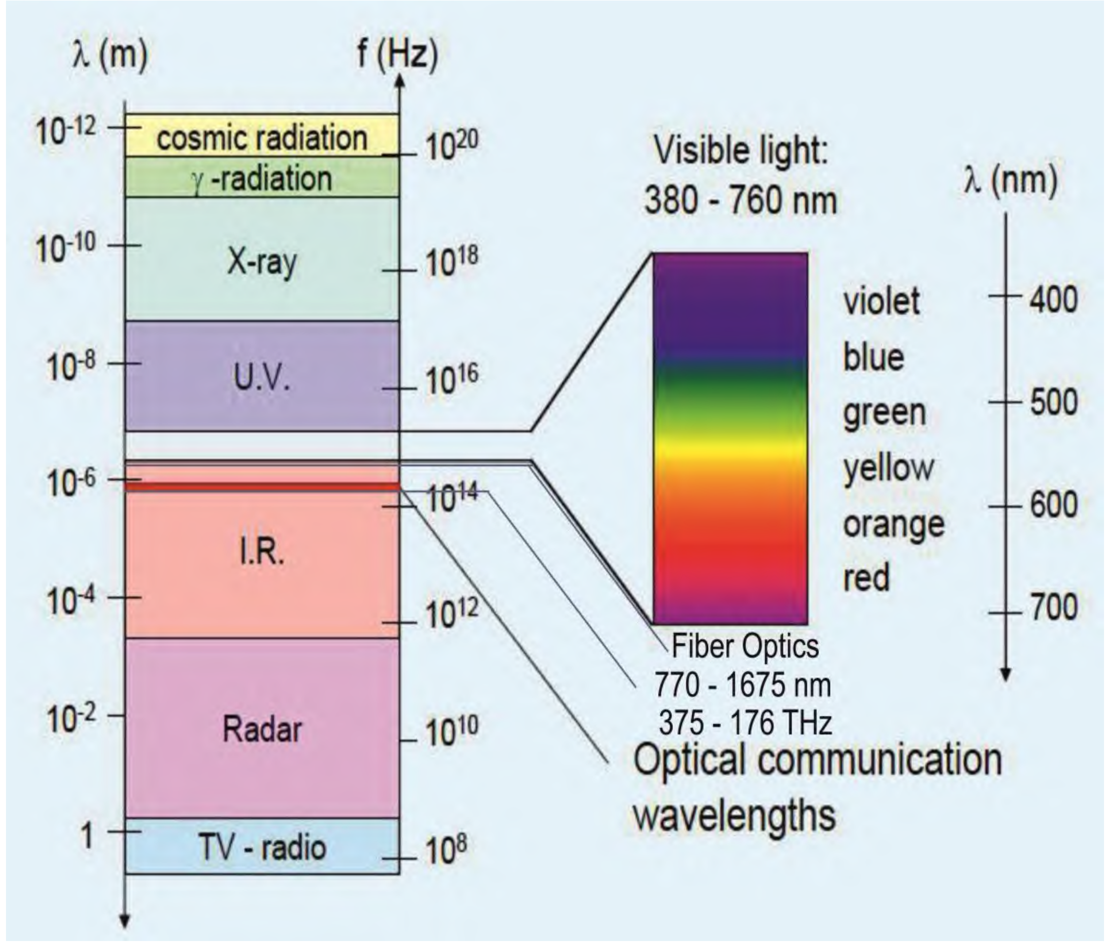


Figure 2.14: Shows Electromagnetic Frequency Spectrum.

Table 2.1 Illustrate frequency and wavelength for each type of radiation.

Type of radiation		Frequency	Wavelength
Ray region	Gamma – ray	10^{19} Hz to above	0.3 A° to shorter
	X – ray	10^{18} Hz to 10^{19} Hz	300 A° to 0.3 A°
Optical region	Ultraviolet	$5.7\text{x}10^{14}$ Hz to 10^{18} Hz	0.4 µm to 0.03µm
	Visible	$4.2\text{x}10^{14}$ Hz to $5.7\text{x}10^{14}$ Hz	0.7 µm to 0.4 µm
	Infrared	10^{12} Hz to $4.2\text{x}10^{14}$ Hz	300 µm to 0.7 µm
Wave region	Micro Wave	10^{9} Hz to 10^{12} Hz	$3\text{x}10^{2}$ nm to 0.3 nm
	Radio Wave	10^{9} Hz to less	$3\text{x}10^{2}$ nm to longer

2.7.3 Matter Waves

3.7.2 موجات المادة

These are also called De Broglie waves. They show or depict the wave nature or wave like nature of all matter, everything that makes up our body, the atoms etc

وتسمى أيضا موجات دي برولي. حيث أنها تظهر أو تصور طبيعة الموجة أو الصفة المماثلة للموجة وهي صفة من صفات كل المواد، كل ما يشكل الجسم، الذرات..... الخ

Considering the quantum physics we have a proof that the wavelength of matter waves is very small.

وبالنظر إلى فيزياء الكم لدينا دليل على أن الطول الموجي لموجات المادة هو صغير جدا.

There are various equations called the De Broglie equations which basically suggest the dual nature of matter.

هناك معادلات مختلفة تسمى معادلات دي برولي التي تشير أساسا إلى الطبيعة الازدواجية للمادة.

The frequency of these waves is directly depends on their kinetic energy.

تردد هذه الموجات يعتمد بشكل مباشر على الطاقة الحركية.

Momentum is not directly proportional to the wavelength of the particle and not inversely proportional.

الزخم لا يتناسب طرديا مع الطول الموجي للجسيمات ولا يتناسب عكسيا.

2.8 Surface Waves

8.2 موجات السطح

These waves can have mechanical nature. They can have an electromagnetic nature. Example is a ground wave propagating close to the earth's surface.

هذه الموجات يمكن أن يكون لها طبيعة ميكانيكية. ويمكن أن يكون لها طبيعة كهرومغناطيسية. مثال على ذلك موجة أرضية وهي التي تنتشر بالقرب من سطح الأرض.

It can propagate between two fluids with different densities. For example a diving sea creature can create a surface wave. They are also called Rayleigh waves.

ويمكن أن تنتشر بين سوائل اثنين مع كثافات مختلفة. على سبيل المثال موج البحر الداخلي يمكن أن تخلق موجة سطحية. وتسمى أيضا موجات رايلي.

2.9 Elastic Waves

9.2 موجات مرنة

The body which is elastic in nature produces this Elastic wave. The elastic body is responsible for setting the vibratory motion of particles.

الجسم المرن في طبيعتة ينتج هذه الموجة المرنة. الجسم المرن هو المسؤول عن تحديد الحركة الاهتزازية للجسيمات.

This vibratory motif on basically causes the Elastic wave. For an elastic wave the particles always tend to come back to their original positions when set in wave motion. This leads to the formation of the wave.

يعزا السبب الرئيسي لفكرة الاهتزاز للموجة المرنة. حيث في الموجة المرنة الجسيمات دائما تميل إلى العودة إلى مواقعها الأصلية عندما وضعت في حركة الموجة وهذا يؤدي إلى تشكيل الموجة.

Thus Elastic Wave is a type of mechanical wave. Restoring force is provided causing the wave motion. It also propagates in the viscos-elastic medium. The study of the elastic waves is called Electrodynamics.

وبالتالي الموجة المرنة هو نوع من الموجات الميكانيكية. بشرط استعادة القوة مما تسبب في حركة الموجة. كما ينتشر في الوسط اللزج المرن. وتسمى دراسة الموجات المرنة بالديناميكية الكهربائية.

Example:

مثال:

When gas which when compressed tend to come to its original position.

عند ضغط الغاز يميل الى الرجوع الى وضعة الأصلي.

When sound is transmitted through the gas then it is transmitted as an elastic wave.

عندها ينتقل الصوت من خلال الغاز ينتقل كموجة مرنة.

2.10 Sound Waves

10.2 الموجات الصوتية

For sound waves the existence of material medium is very necessary for the propagation of the waves. The propagation of waves taking place in solid, liquid and gases which makes us hear the sound is called Sound wave.

وجود الوسط المادي ضروري جدا لأنتشار الامواج الصوتية. ويسمى انتشار الموجات التي تحدث في الصلبة والسائلة والغازات التي تجعلنا نسمع الصوت بالموجة الصوتية.

Properties:	**الخصائص:**
1- Sound waves are longitudinal in nature.	1- الموجات الصوتية ذات طبيعه طولية.
2- Material medium is necessary for the propagation of the sound waves.	2 - الوسط المادي ضرورية لنشر الموجات الصوتية.
3- The Speed of sound in air at N.T.P is 332 m/s.	3. سرعة الصوت في الهواء في N.T.P هو 332 م / ث.
4- The Sound is audible only between 20 Hz to 20 KHz.	4- الصوت مسموع للانسان فقط بين 20 هرتز إلى 20 كيلو هرتز.

2.11 Standing Waves — 11.2 الموجات الواقفة

When a wave remains in a constant position it is called Standing wave. This is possible due to 2 reasons:	عندما تبقى الموجة في موقع ثابت يطلق عليها الموجة الواقفة. وهذا يكون لسببين رئسيين:
1- When the medium moves in a direction opposite to the direction of propagation of wave it is possible.	1- عندما يتحرك الوسط بالأتجاه المعاكس لاتجاه انتشار الموجة فمن الممكن ان تتكون لدينا موجة واقفة.
2- When the phenomenon of interference takes place between the two waves traveling in an opposite direction then it is possible.	2- عندما تحدث ظاهرة التداخل بين الموجتين المتجهتين في اتجاهين معاكستين فمن الممكن ان تتكون لدينا موجة واقفة.
3- When two waves having equal frequency and amplitude overlap each other then we get a standing wave. This is possible due to the obstruction of the wave by some boundary and hence the reflection of it back in the same medium.	3- عندما تتداخل موجتان متساويتان التردد والاتساع مع بعضها البعض نحصل على موجة واقفة. وهذا ممكن بسبب اعاقة الموجة من قبل بعض الحدود، وبالتالي يحدث لها انعكاس مرة أخرى في نفس الوسط.

2.12 Properties of Waves

12.2 خصائص الموجات

When we observe waves in the sea shore, it may be observed that they travel with a definite speed through a uniform medium. If we watch a particular spot, we find that the waves pass that spot at regular intervals of time.

عندما نلاحظ موجات في شاطئ البحر، قد يلاحظ أنهم يسيرون بسرعات محددة من خلال وسط منتظم. إذا شاهدنا بقعة معينة، نجد أن الموجات تمر خلال تلك النقطة على فترات منتظمة من الزمن.

Any waves traveling through any medium will be having particular properties related to them.

أي موجات تسير عبر أي وسط يكون لها خصائص خاصة تتعلق بها.

Wave Properties of Matter

خصائص الموجة للمادة

Louis De Broglie's hypothesis:

فرضية لويس دي برولي:

According to Louis De Broglie, Light has a dual nature that is both particle and wave.

وفقا لفرضية لويس دي برولي، الضوء له طبيعة مزدوجة على حد سواء صفة الجسيم وصفة الموجة.

Matter wave are probability waves. Waves are associated with every moving particle which is called matter waves.

موجة المواد هي موجات الاكثر احتمال. وترتبط الموجات مع كل الجسيمات المتحركة التي تسمى موجات المادة.

If λ is the associated wavelength with moving particle and **p** is the momentum then:

إذا كان λ هو الطول الموجي المصاحب مع الجسيم المتحرك و **p** هو الزخم فأن:

$$\lambda = h/p$$

Energy of photon is given by,

$$E = h\nu$$

Where,

h: Planck constant

ν: Frequency of photons

Momentum of moving photon,

$$p = h\lambda$$

Effective mass is given by,

m = pc

Where,

p: momentum of moving photon

c: Velocity of light.

Properties of Radio Waves — خصائص موجات الراديو

It was discovered by Maxwell. Various properties of radio waves are:

تم الاكتشافه من قبل ماكسويل و هناك خصائص مختلفة من موجات الراديو:

1- They are the type of electromagnetic waves.
2- Their wavelength is longer than infrared rays.
3- The frequency ranges from 3 KHz to 300 GHz.
4- Wavelength ranges from 1mm – 100 km
5- The Velocity of traveling = c or speed of light.

1- هي نوع من الموجات الكهرومغناطيسية.
2- الطول الموجي أطول من الأشعة تحت الحمراء.
3 - يتراوح التردد من 3 كيلوهيرتز إلى 300 كِيكَاهيرتز.
4- الطول الموجي يتراوح بين 1 ملم الى 100 كم
5- سرعة الانتقال = سرعة الضوء (c).

Example: Lightning waves.

مثال: موجات البرق.

Application: — التطبيقات:

1- They are used in radar, broadcasting and radio communication.

1- أنها تستخدم في الرادار والبث والاتصالات اللاسلكية.

2- They are Used in MRI in hospitals.

2. يتم استخدامها في التصوير بالرنين المغناطيسي في المستشفيات.

3- They are also Used in radio communication this forms an integral part of wireless communication.

3- كما أنها تستخدم في الاتصالات الراديوية و هذا يشكل ايضاً جزءاً لا يتجزأ من الاتصالات اللاسلكية.

4-

2.13 Light –Beam (Rays) 13.2 شعاع الضوء

The basic element in geometrical optics is the light ray, a hypothetical construct that indicates the direction of the propagation of light at any point in space. , but the observation that light travels in straight lines led naturally to the development of the ray concept. It is easy to imagine representing a narrow beam of light by a collection of parallel arrows—a bundle of rays. As the beam of light moves from one medium to another, reflects off surfaces, disperses, or comes to a focus.

العنصر الأساسي في البصريات الهندسية هو شعاع الضوء، وهو بناء افتراضي يشير إلى اتجاه انتشار الضوء في أي نقطة في الفضاء. ولكن الملاحظة أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة مما أدى بشكل طبيعي إلى تطوير مفهوم الأشعة. فمن السهل أن نتصور تمثيل شعاع ضيق من الضوء من قبل مجموعة من السهام الموازية - حزمة من الأشعة. كما أن شعاع الضوء يتحرك من وسط إلى أخرى، ينعكس من على الأسطح، تشتت، أو يتجمع في المركز.

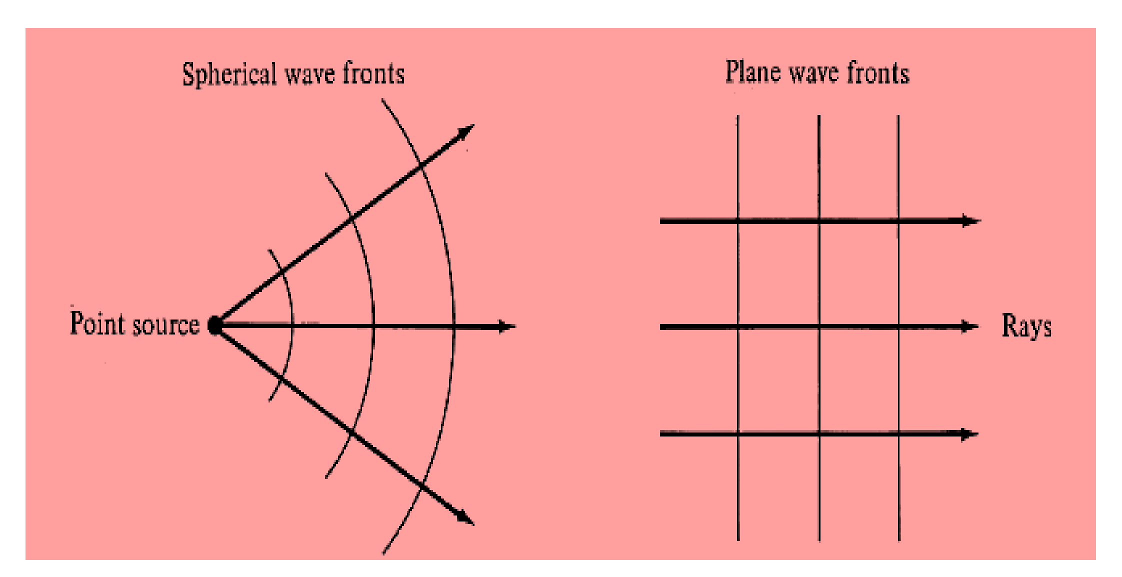


Figure 2.15: Representing Beam of Light.

•A wave front (or phase front) is defined as the locus of all points in the wave train which have the same phase.

• تعرف جبهة الموجة (أو جبهة الطور) بأنها موضع جميع النقاط في سلسلة الموجة التي لها نفس الطور.

•When the wavelength of the light is much smaller than the object (or opening) which it encounters, the wave fronts appear as straight

• عندما يكون الطول الموجي للضوء أصغر بكثير من الجسم (أو الفتحة) الذي يواجهه، تظهر واجهات الموجة كخطوط مستقيمة لهذا الجسم أو الفتحة.

lines to this object or opening.

•In this case, the light wave can be represented as a plane wave, and its direction of travel can be indicated by a light ray which is drawn perpendicular to the phase front.

• في هذه الحالة، يمكن تمثيل الموجة الضوئية كموجة مستوية، ويمكن الإشارة إلى اتجاهها من خلال أشعة الضوء التي يتم رسمها عمودياً على جبهة الطور.

•The rays show the direction of energy flow in the light beam

• تظهر الأشعة باتجاه تدفق الطاقة في شعاع الضوء

2.14 Ray Transmission Theory

14.2 نظرية انتقال الشعاع

• Before studying how the light actually propagates through the fiber, laws governing the nature of light must be studied. These were called as **laws of optics (Ray theory).** There is conception that light always travels at the same speed.

• قبل دراسة كيفية انتشار الضوء من خلال الألياف، يجب دراسة القوانين التي تحكم طبيعة الضوء. هذه كانت تسمى قوانين البصريات (نظرية الاشعاع). هناك فكرة أن الضوء يسير دائما بنفس السرعة.

This fact is simply not true. The speed of light depends upon the material or medium through which it is moving. In free space light travels at its maximum possible speed i.e. 3×10^8 m/s or 186×10^3 miles/sec. When light travels through a material it exhibits certain behavior explained by laws of reflection, refraction.

وهذه الحقيقة ليست صحيحة. سرعة الضوء يعتمد على المواد أو الوسطة التي يتحرك من خلالها. في الفضاء الحر يسير ضوء في أقصى سرعة ممكنة أي $3x10^8$ م / ث أو $186x10^3$ ميل / ثانية. عندما يسير الضوء من خلال مادة فإنه يظهر سلوك معين يفسر ويشرح قوانين الانعكاس و الانكسار.

At the heart of an optical communication system is the optical fiber that acts as the transmission channel carting the light beam loaded with information, the guidance of the light beam(through the optical

يعتبر الاساس في نظام الاتصالات البصرية هي الألياف الضوئية التي تعمل بمثابة قناة نقل شعاع الضوء محمل بالمعلومات، وعملية توجيه شعاع الضوء تتم (من خلال الألياف البصرية) يحدث بسبب ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي (TIR)، والتي سيتم مناقشتها لاحقاً. نحدد أولا الانعكاس

fiber) takes place because of the phenomenon of total internal reflection(TIR), Which will be discussed later. We first define the Reflection, Refraction and refractive index (n) of a medium.

والانكسار للضوء ومعامل الانكسار للوسط (n).

2.14.1 Reflection

1.14.2 الانعكاس

• The law of reflection states that: when a light ray is incident upon a reflective surface at some incident angle ϕ_1 from imaginary perpendicular normal, the ray will be reflected from the surface at some angle ϕ_2 from normal which is equal to the angle of incidence.

• ينص قانون الانعكاس على أنه: عندما يسقط شعاع ضوئي على سطح عاكس عند زاوية معينة مثل زاوية ϕ_1 تكون هذه الزاوية بين الشعاع الساقط والعمود الوهمي القائم على السطح الفاصل بين المادتين، سوف ينعكس الشعاع عند نقطة السقوط ويصنع الشعاع المنعكس زاوية ϕ_2 مع العمود المقام نفسة، وعنها سوف تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

Law of Reflection
Angle of Incidence = Angle of Reflection
normal
incident ray
ϕ_1
ϕ_2
reflected ray
Reflective Surface
angle of incidence
angle of reflection

Figure 2.16: Represents Law of Reflection.

Reflection tapy

انواع الانعكاس

The amount of light reflected by an object, and how it is reflected, is highly dependent upon the smoothness or texture of the surface. When surface imperfections are smaller than the wavelength of the incident light (as in the case of a mirror), virtually all of the light is reflected equally. However, in the real world most objects have convoluted surfaces that exhibit a diffuse reflection, with the incident light being reflected in all directions.

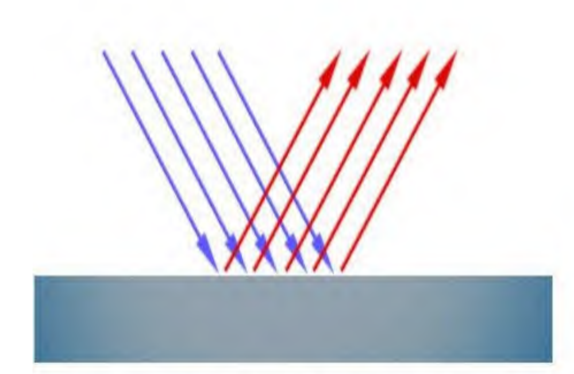
ويعتمد مقدار الضوء المنعكس بواسطة الجسم، وكيف ينعكس، بشكل كبير على نعومة أو نسيج السطح. عندما تكون عيوب السطح أصغر من الطول الموجي للضوء الساقط (كما في حالة المرآة)، ينعكس كل الضوء تقريبا على قدم المساواة.

ومع ذلك، في العالم الحقيقي معظم الأجسام قد تكون السطوح معقدة والتي تظهر انعكاس منتشر، مع الضوء الساقط والذي ينعكس في جميع الاتجاهات.

The reflection of light can be roughly categorized into two types of reflection: **specular reflection** is defined as light reflected from a smooth surface at a definite angle, and **diffuse reflection**, which is produced by rough surfaces that tend to reflect light in all directions (as illustrated in Figure **2.17**).

ويمكن تصنيف انعكاس الضوء تقريبا إلى نوعين من الانعكاس:

1- الانعكاس المرآوي بأنه ضوء يعكس الضوء من على سطح أملس عند زاوية محددة.
2- الانعكاس المنتشر والذي ينتج عن أسطح خشنة تميل إلى عكس الضوء في جميع الاتجاهات. (مثل ما يتضح في الشكل 17.2).



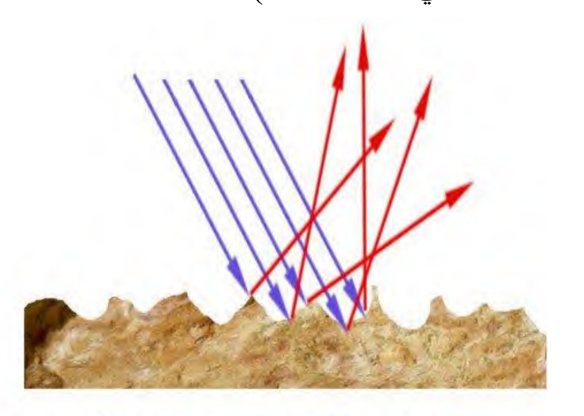


Figure 2.17: Represents Reflection tapy.

2.14.2 Refraction

2.14.2 الانكسار

• Refraction occurs when light ray passes from one medium to another i.e. the light ray changes its direction at interface. Refraction occurs whenever density of medium changes. E.g. refraction occurs at air and water interface, the straw in a glass of water will appear as it is bent.
The refraction can also observed at air and glass interface، Fig. 2.18 shows

• يحدث الانكسار عندما يمر شعاع الضوء من وسط إلى آخر، أي أن شعاع الضوء يغير اتجاهه عند السطح البيني. يحدث الانكسار عندما يكون تغير في كثافة الوسط. مثلا يحدث الانكسار عند الوسط البيني بين الهواء والماء، مثلاً عند وضع قصبة في كوب من الماء سوف تظهر كما لو انه انحنت.
ويمكن ملاحظة الانكسار أيضا في السطح الفاصل بين الهواء والزجاج، شكل.18.2.

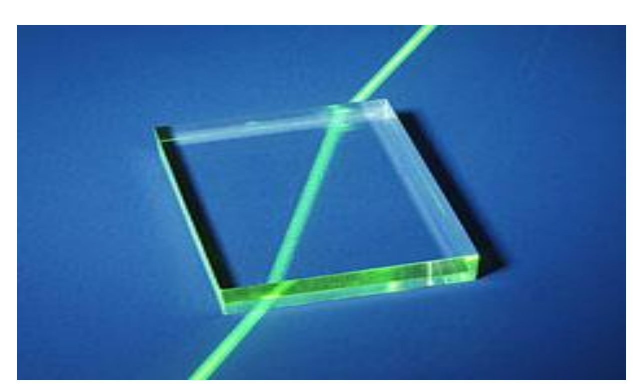


Figure 2.18: Explains the refraction process.

• When wave passes through less dense medium to more dense medium, the wave is refracted (bent) towards the normal. Fig. 2.19 shows the refraction phenomena.

• عندما تمر الموجة من خلال وسط أقل كثافة إلى وسط أكثر كثافة، تنكسر الموجة (تنحني) نحو العمود المقام. شكل 19.2 يظهر ظاهرة الانكسار.

• The refraction (bending) takes place because light travels at different speed in different mediums. The speed of light in free space is higher than in water or glass.

• الانكسار (الانحناء) يحدث لأن الضوء يسير بسرعة مختلفة في اوساط مختلفة. سرعة الضوء في الفضاء الحر هو أعلى مما عليه في الماء أو الزجاج.

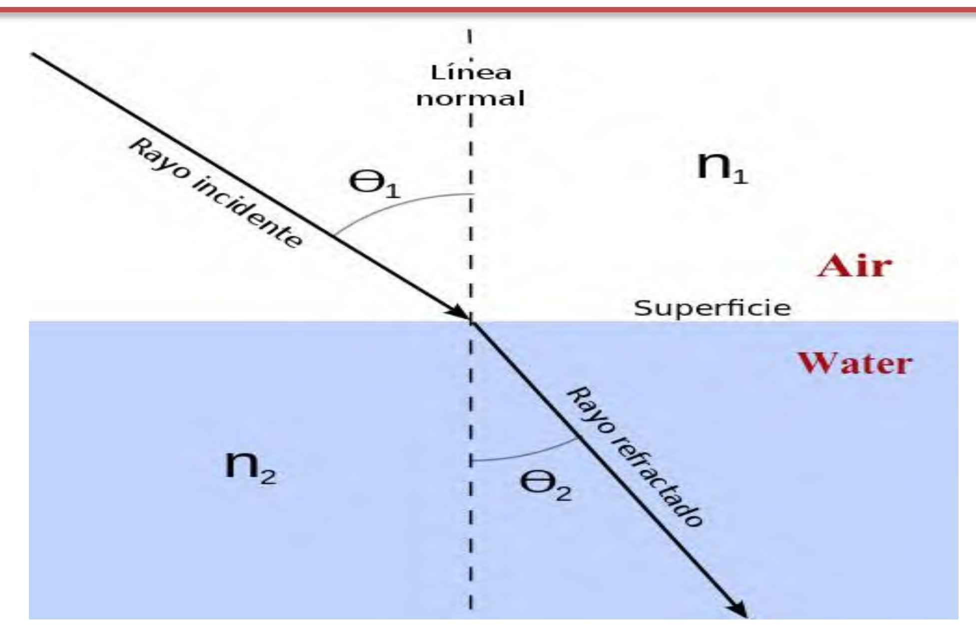


Figure 2.19: Represents Law of Refraction

2.14.3 Refractive Index

3.14.2 معامل الانكسار

- The amount of refraction or bending that occurs at the interface of two materials of different densities is usually expressed as refractive index of two materials. Refractive index is also known as **index of refraction** and is denoted by n.

- عادة ما يعبر عن مقدار الانكسار أو الانحناء الذي يحدث عند السطح الفاصل بين مادتين مختلفتين في الكثافة لكل مادة معامل انكسار. ويعرف مؤشر الانكسار أيضا بمعامل الانكسار ويشار إليه بالرمز n.

- Based on material density, the refractive index is expressed as the ratio of the velocity of light in free space to the velocity of light of the dielectric material (substance) and is given by:

- استنادا إلى كثافة المادة، يعبر عن معامل الانكسار على أنه نسبة سرعة الضوء في الفضاء الحر إلى سرعة الضوء للمادة العازلة وتعطى من قبل المعادلة:

$$\text{Refractive index } n = \frac{\text{Speed of light in air}}{\text{Speed of light in medium}} = \frac{c}{v}$$

Typical values of n are:

- $n_{air} = 1.00$
- $n_{water} = 1.33$
- $n_{silicaglass} = 1.45$
- $n_{diamond} = 2.42$

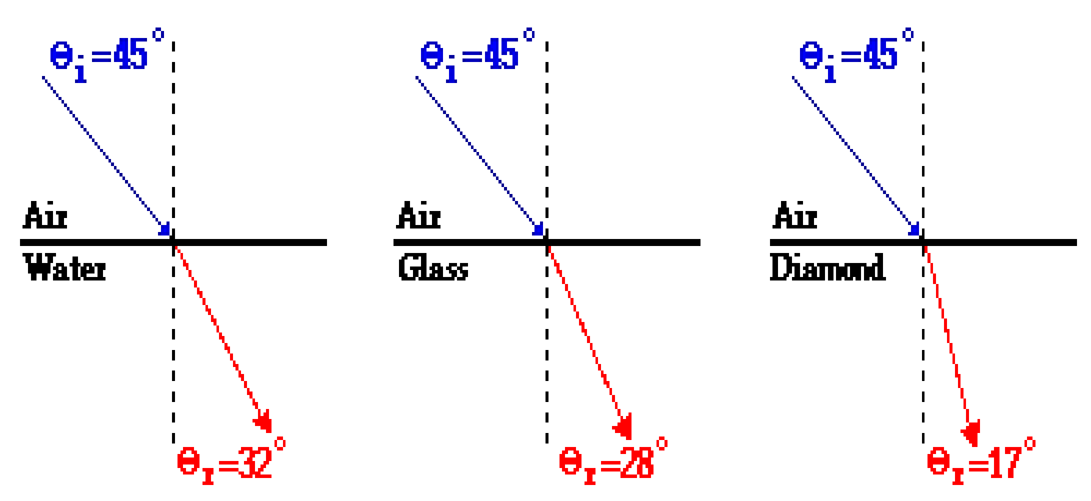


Figure 2.20: Shows the Difference of the Refractive Angle by Diffraction Indexes.

2.14.4 Snell's Law

4.14.2 قانون سنيل

- Snell's law states how light ray reacts when it meets the interface of two media having different indexes of refraction.
- Let the two medias have refractive indexes n_1 and n_2 where $n_1 > n_2$.

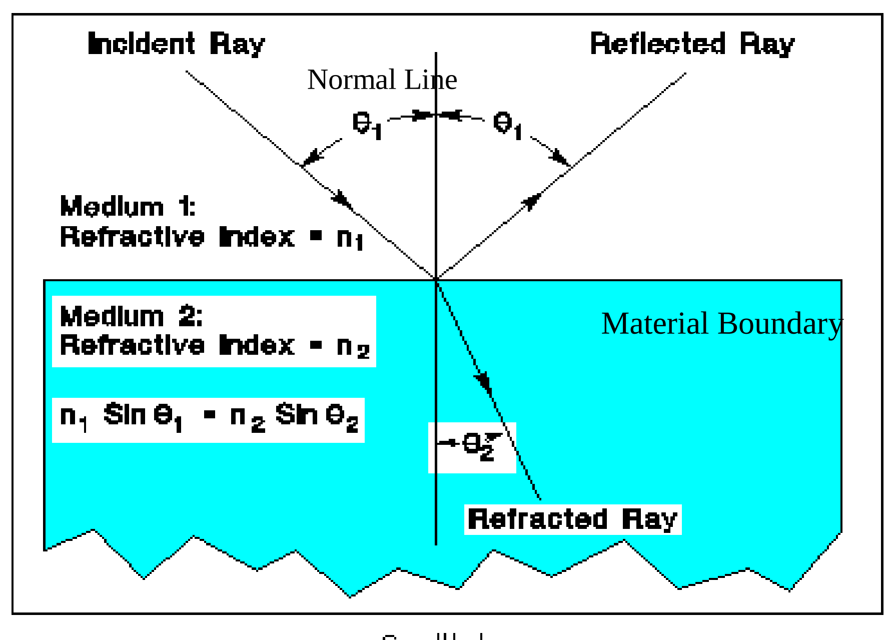
ϕ_1 and ϕ_2 be the angles of incidence and angle of refraction respectively. Then according to Snell's law, a relationship exists between the refractive index of both materials given by:

- مبدء قانون سنيل هو كيفية تأثر شعاع الضوء عندما يسقط على السطح الفاصل لوسيطين لهما معامل انكسار مختلف.
- نفرض اثنين من المواد لديهم معامل الانكسار n_1 و n_2 حيث $n_1 > n_2$.

ϕ_1 و ϕ_2 هما زوايا سقوط الشعاع وزاوية انكسار الشعاع على التوالي. ثم وفقا لقانون سنيل، توجد علاقة بين معامل الانكسار لكل من المواد المقدمة وهي:

$$n_1 \cos\theta_1 = n_2 \cos\theta_2$$

- A refractive index model for Snell's law is shown in Fig.(2.21)
- يظهر نموذج معامل الانكسار لقانون سنيل في الشكل (21.2).



Snell's law

Figure 2.21: Refractive model for Snell's law.

• The refracted wave will be towards the normal when n1 < n2 and will away from it when $n_1 > n_2$.

• سوف تتجه الموجة المنكسرة نحو العمود القائم عند $n_1 < n_2$ وستبتعد عنها عند $n_1 > n_2$.

يمكن كتابة المعادلة

$$n_1 \cos\theta_1 = n_2 \cos\theta_2$$

بالشكل التالي

$$\frac{n1}{n2} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$$

• This equation shows that the ratio of refractive index of two mediums is inversely proportional to the refractive and incident angles.

• تظهر هذه المعادلة أن نسبة معامل الانكسار لوسيطين تتناسب عكسيا مع زاوية الانكسار وزاوية السقوط.

As refractive index $n_1 = \frac{c}{v_1}$ and $n_2 = \frac{c}{v_2}$ substituting these values in equation

$$\frac{c / v_1}{c / v_2} = \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1}$$

$$\therefore \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1}$$

2.14.5 Critical Angle

5.14.2 الزاوية الحرجة

• When the angle of incidence (ϕ_1) is progressively increased, there will be progressive increase of refractive angle (ϕ_2). At some condition (ϕ_1) the refractive angle (ϕ_2) becomes 90o to the normal. When this happens the refracted light ray travels along the interface. The angle of incidence (ϕ_1) at the point at which the refractive angle (ϕ_1) becomes 90o is called the critical angle. It is denoted by ϕc.

• عندما تزداد زاوية سقوط الشعاع (ϕ_1) تدريجيا، ستكون هناك زيادة تدريجية في زاوية الانكسار (ϕ_2). في بعض حالات (ϕ_1) تصبح زاوية الانكسار(ϕ_2) تساوي 90^o في وضعها الطبيعي. عندما يحدث هذا ينتقل شعاع الضوء المنكسر على طول الخط الفاصل بين المادتين. وتسمى زاوية السقوط (ϕ_1) بالزاوية الحرجة عند النقطة التي تكون فيها زاوية الانكسار تساوي $90°$. يشار إليه بواسطة (ϕc).

• The **critical angle** is defined as the minimum angle of incidence (ϕ_1) at which the ray strikes the interface of two media and causes an angle of refraction (ϕ_2) equal to 90^o. Fig under shows critical angle refraction.

• تعرف الزاوية الحرجة على انها اقل زاوية (ϕ_1) يحدثها الشعاع الساقط على الحد الفاصل بين المادتين وعندها يكون فيها الشعاع المنكسر منطبق على الحد الفاصل بينهما وتكون زاوية الانكسار (ϕ_2) تساوي 90^o ويظهر الشكل أدناه انكسار الزاوية الحرجة

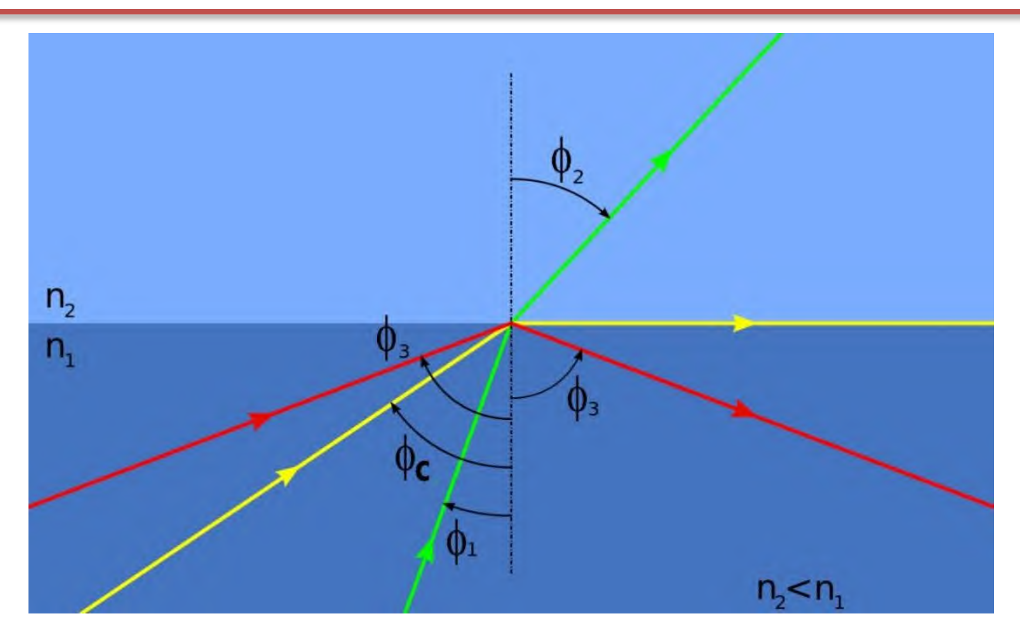


Figure 2.22: Illustrates drawing critical angle.

Hence at critical angle $\phi_1 = \phi_c$ and $\phi_2 = 90^o$
أي عندما تصبح $(\phi_1 = \phi_c)$ ستكون عند أذاً $(\phi_2 = 90^o)$

Using Snell's law: $\mathbf{n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2}$

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^o$$

$\because$ $$\sin 90^o = 1$$

Therefore, $\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1}$

$$\text{Critical angle } \phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

2.14.6 Total Internal Reflection (TIR)

6.14.2 الانعكاس الداخلي التام (TIR)

• When the incident angle is increase beyond the critical angle, the light ray does not pass through the interface into the other medium. This gives the effect of mirror exist at the interface with no possibility of light escaping outside the medium. In this condition angle of reflection (ϕ_2) is equal to angle of incidence (ϕ_1).

• عندما تزداد زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة، لا يمر شعاع الضوء عبر السطح البيني (الفاصل بين الوسطين) إلى الوسط الآخر الاقل معامل انكسار. وهذا يعطي تأثير مرآة موجودة في السطح الفاصل مع عدم إمكانية للضوء بالنفاذ الى الوسط الثاني. وفي هذه الحالة تتساوى زاوية الانعكاس (ϕ_2) مع زاوية السقوط (ϕ_1) فينعكس جميع الضوء الى داخل الوسط نفسه.

This action is called as **Total Internal Reflection (TIR)** of the beam. It is TIR that leads to the propagation of waves within fiber-cable medium. TIR can be observed only in materials in which the velocity of light is less than in air.

ويسمى هذا السلوك بإسم **الانعكاس الداخلي التام** للشعاع (**TIR**).
ان سلوك **الانعكاس الداخلي التام** يؤدي إلى انتشار الموجات داخل مادة كابل الألياف. ويمكن ملاحظة **الانعكاس الداخلي التام** فقط في الأوساط التي تكون فيها سرعة الضوء أقل من الهواء.اي معامل انكسار الوسط اكبر من معامل انكسار الهواء.

• The two conditions necessary for TIR to occur are :

•الشرطان الضروريان لحدوث **الانعكاس الداخلي التام** هما:

1. The refractive index of first medium must be greater than the refractive index of second one.

1. يجب أن يكون معامل الانكسار للوسط الأول أكبر من معامل الانكسار للوسط الثاني.

2. The angle of incidence must be greater than (or equal to) the critical angle.

2. يجب أن تكون زاوية السقوط أكبر من (أو تساوي) الزاوية الحرجة.

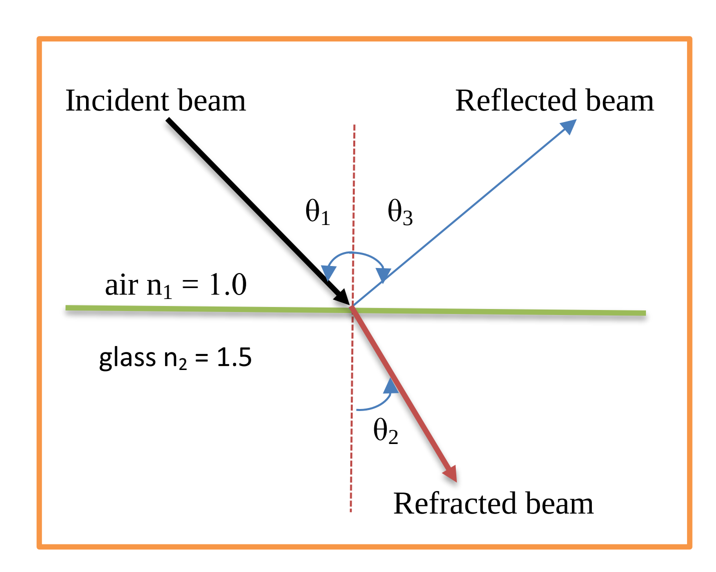
• The actual value of critical angle is dependent upon combination of materials present on each side of boundary.

• وتعتمد القيمة الفعلية للزاوية الحرجة على مجموعة من المواد الموجودة على كل من جانبي الحدود.

ملخص للانعكاس الداخلي التام

هذه ست رسوم في الشكل (23.2) تبين عملية الانعكاس الداخلي التام بالترتيب والتفصيل:

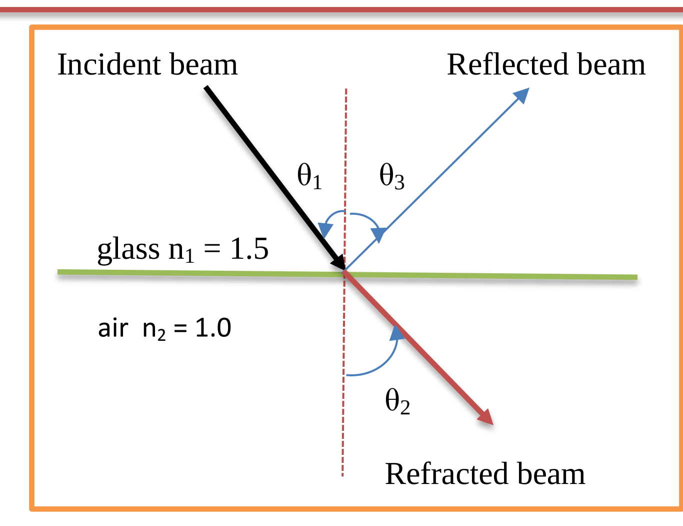
1- **الرسم الاول:** نلاحظ عند سقوط الشعاع من وسط اقل كثافة (معامل انكسار اقل) الى وسط اكثر كثافة (معامل انكسار اكبر) فأن قسم من الشعاع سوف ينعكس والقسم الاخر سوف ينكسر مقترب من العمود الوهمي المقام وبهذا سوف تكون زاوية الانكسار اصغر من زاوية السقوط.
2- **الرسم الثاني:** يبين عند سقوط الشعاع من وسط اعلى كثافة الى وسط اقل كثافة فأن قسم من الشعاع سوف ينعكس والقسم الاخر سوف ينكسر مبتعد عن العمود المقام، وبهذا سوف تكون زاوية الانكسار اكبر من زاوية السقوط.
3- **الرسم الثالث:** يوضح اكثر حيث كلما زادة زاوية سقوط الشعاع زادة زاوية الانكسار عندما ينفذ الضوء من وسط اكبر معامل انكسار الى وسط اقل معامل انكسار.
4- **الرسم الرابع:** يوضح ان زاوية السقوط تصل الى حد معين يحدث فيها ان الشعاع المنكسر ينطبق على الحد الفاصل بين الوسطين بحيث تكون زاوية الانكسار تساوي 90^o وبهذه الحالة تسمى زاوية السقوط بالزاوية الحرجة (θ_c).
5- **الرسم الخامس:** يمثل عند انتقال الضوء من وسط اكبر معامل انكسار الى وسط اقل معامل انكسار وان زاوية سقوط الشعاع تكون اكبر من الزاوية الحرجة عندها سوف ينعكس كل الشعاع المنكسر داخل الوسط وبذلك تحق عملية الانعكاس الداخلي التام وهي تعتبر المبدء الاساسي والرئيس التي تعمل علية تقنية انتقال الشعاع داخل الليف البصري.
6- **الرسم السادس: وهو ملخص لعملية الانعكاس الداخلي التام.**



$n_1 < n_2$

$\theta_1 = \theta_3$

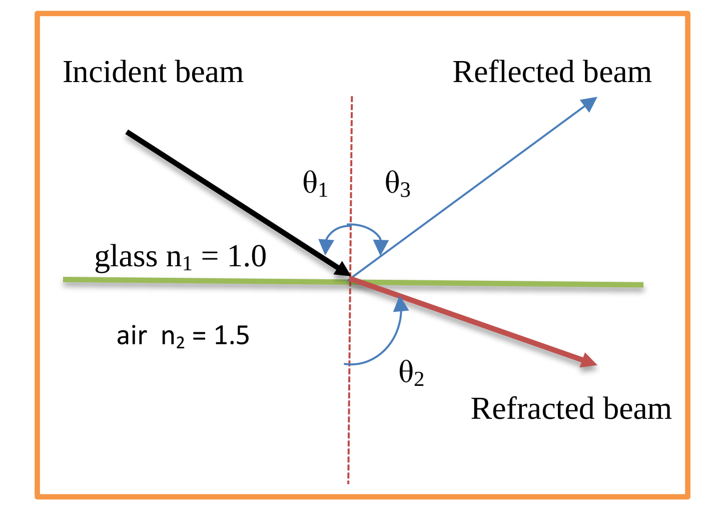
$\theta_1 > \theta_2$



$n_1 > n_2$

$\theta_1 = \theta_3$

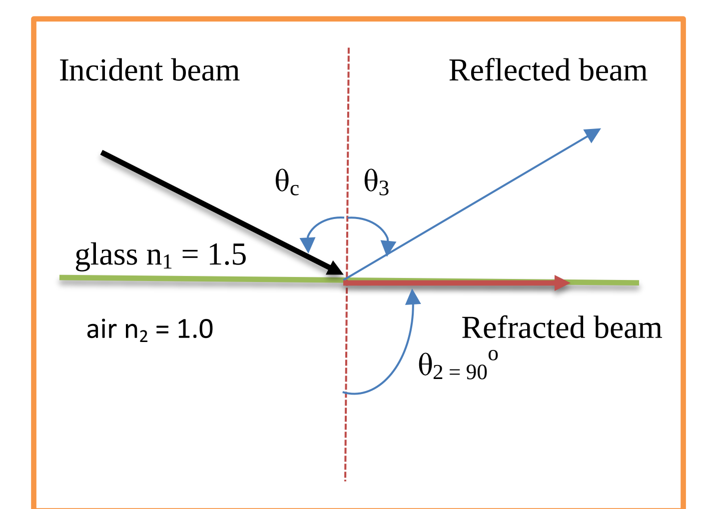
$\theta_1 < \theta_2$



$n_1 > n_2$

$\theta_1 = \theta_3$

$\theta_1 < \theta_2$



$n_1 > n_2$

$\theta_1 = \theta_c$

$\theta_2 = 90^o$

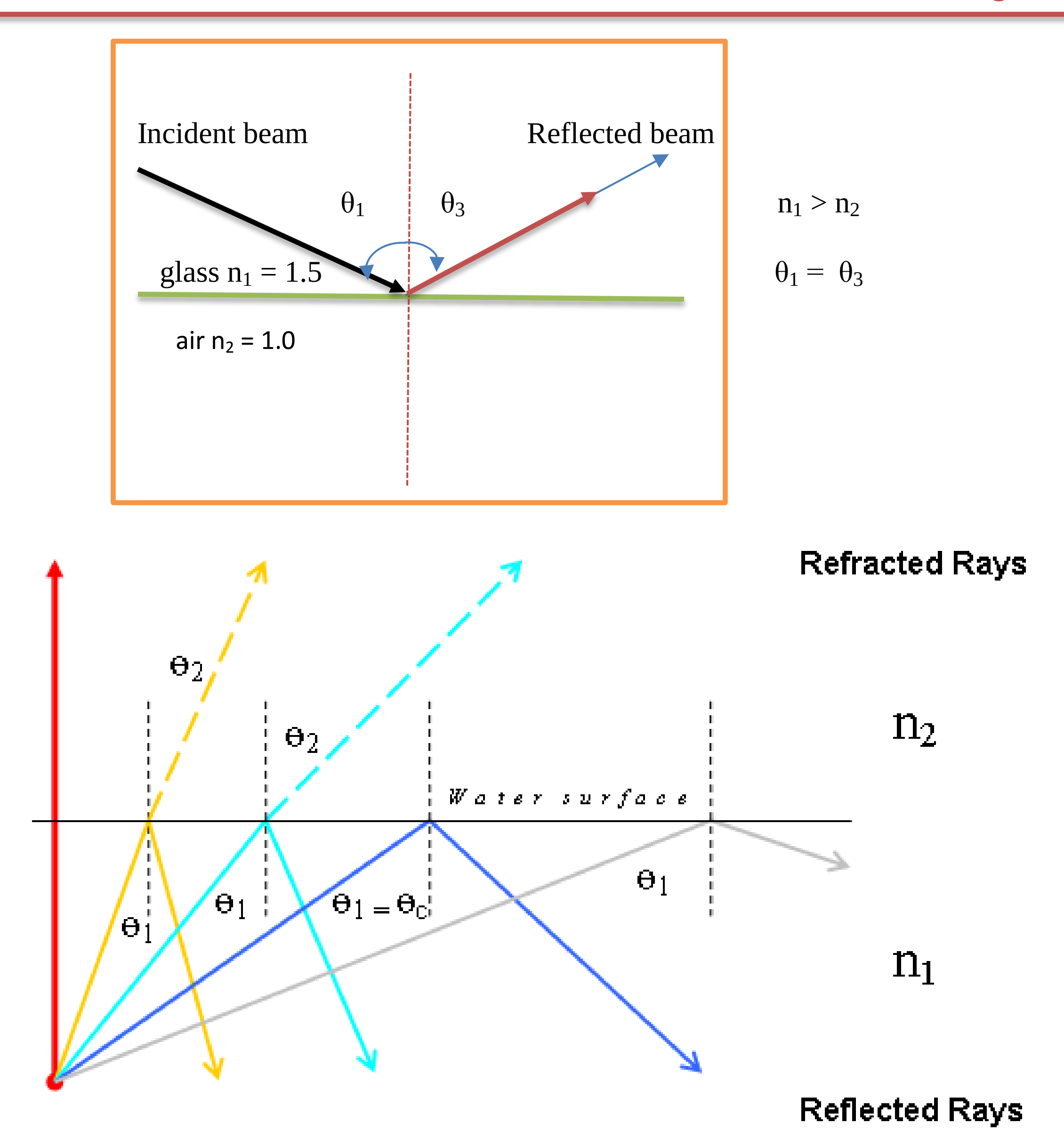


Figure 2.23: Illustrate the Drawing Internal Reflection Process.

Example 2.1: A light ray is incident from medium-1 to medium-2. If the refractive indices of medium-1 and medium-2 are 1.5 and 1.36 respectively then determine the angle of refraction for an angle of incidence of 30^o.

Solution: Medium-1 $n_1 = 1.5$

Medium-2 $n_2 = 1.36$

Angle of incidence $\phi_1 = 30o$.

Angle of incident $\phi_2 = ?$

$$\text{Snell's law}: n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2$$

$$1.5 \sin 30^o = 1.36 \sin\phi_2$$

$$\sin\phi_2 = \frac{1.5}{1.36}\sin 30^o$$

$$\sin\phi_2 = 0.55147$$

$$\therefore \quad \phi_2 = 33.46^o$$

Angle of refraction 33.46^o from normal. **… Ans.**

Example 2.2: A light ray is incident from glass to air. Calculate the critical angle (ϕc).

Solution: Refractive index of glass $n_1 = 1.50$

Refractive index of air $n_2 = 1.00$

$$\text{Snell's law}: n_1 \sin\phi_1 = n_2 \sin\phi_2$$

$$\sin\phi_1 = \frac{n_2}{n_1}\sin\phi_2$$

From definition of critical angle, $\phi_2 = 90^o$ and $\phi_1 = \phi c$.

$$\therefore \quad \sin\phi_1 = \frac{n_2}{n_1}\sin 90°$$

$$\sin\phi_c = \left(\frac{1.0}{1.5}\right) x\, 1 = 0.67$$

$$\therefore \quad \phi_c = \sin^{-1} 0.67$$

$$\phi_c = 41.81°$$

Critical angle $\phi_c = \mathbf{41.81°}$ **… Ans.**

Example 2.**3**: Calculate the NA, acceptance angle and critical angle of the fiber having n_1 (Core refractive index) = 1.50 and refractive index of cladding = 1.45.

Solution: $n_1 = 1.50$, $n_2 = 1.45$

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{(n_1)} = \frac{1.50 - 1.45}{1.50} = 0.033$$

$$\text{Numerical aperture, NA} = n_1\sqrt{2\Delta}$$

$$\text{NA} = 1.50\sqrt{2 \times 0.033}$$

$$\text{NA} = 0.387$$

$$\text{Acceptance angle } \phi_0 = \sin^{-1}\text{NA}$$

$$\phi_0 = \sin^{-1} 0.387$$

$$\phi_0 = 22.78^\circ$$

$$\text{Critical angle } \phi_c = \sin^{-1}\frac{n_2}{n_1}$$

$$\phi_c = \sin^{-1}\frac{1.45}{1.50}$$

$$\phi_c = 75.2^\circ$$

…Ans.

Example 2.4: Calculate the numerical aperture and acceptance angle for a fiber cable of which n_{core} = 1.5 and $n_{cladding}$ = 1.48. The launching takes place from air.

Solution :

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2}$$

$$NA = \sqrt{1.5^2 - 1.48^2}$$

$$NA = \mathbf{0.244}$$

$$\text{Acceptance angle} - \sin^{-1}\sqrt{n_{core}^2 - n_{cladding}^2} = \sin^{-1} NA$$

$$\text{Acceptance angle} = \sin^{-1} 0.244$$

$$\phi_0 = \mathbf{14.12^o}$$

…Ans.

Chapter 3

Wave Theory of Light

3 The Wave Theory of Light

3 نظرية موجة الضوء

3.1 Introduction

1.3 المقدمة

Electromagnetic radiation, including light, exhibits both wave and particle properties and the type of behavior exhibited at any one time depends upon the special circumstances.

الإشعاع الكهرومغناطيسي، بما في ذلك الضوء، يعرض كل من خصائص الموجة وخصائص الجسيمات ويعرض نوع السلوك في وقت واحد أي يعتمد على الظروف الخاصة.

In this chapter we shall concentrate just on relevant wave properties, for almost all of the polarization phenomena that occur in optical waveguides, including optical fibers, can best be understood within the wave theory.

في هذا الفصل سوف نركز فقط على خصائص الموجة ذات الصلة، لأن أفضل ظواهر الاستقطاب التي تحدث في الموجات البصرية، بما في ذلك الألياف البصرية، يمكن أن نفهم على أفضل وجه في النظرية الموجية.

The essentials of the wave theory of light were discovered and examined in the nineteenth century, before the advent of quantum mechanics (in 1901).

تم اكتشاف وفحص أساسيات نظرية الموجة للضوء في القرن التاسع عشر، قبل ظهور ميكانيكا الكم (في عام 1901).

The success of the wave theory was remarkable, and it led to a number of important devices, some of which are described in this chapter.

وكان نجاح نظرية الموجة ملحوظا، وأدى إلى عدد من الأجهزة الهامة، وبعضها موصوف في هذا الفصل.

3.2 Electromagnetic Waves

2.3 الموجات الكهرومغناطيسية

3.2.1 Velocity and Refractive Index

1.2.3 السرعة ومعامل الانكسار

In 1864 James Clerk Maxwell showed conclusively that light waves were electromagnetic in nature, consisting of electric and magnetic fields oscillating orthogonally to each other, and to the direction of the propagation of the wave. He did this by expressing the then-known laws of electromagnetism in such a way as to allow him to derive from them a wave equation.

في عام 1864 برهن جيمس كليرك ماكسويل بشكل قاطع أن الموجات الضوئية كانت كهرومغناطيسية في الطبيعة، تتكون من المجالات الكهربائية والمغناطيسية تتذبذب بشكل متعامد مع بعضها البعض، باتجاه انتشار الموجة. وقد فعل ذلك من خلال التعبير عن قوانين الكهرومغناطيسية المعروفة آنذاك بطريقة تسمح له بأن يستمد منها معادلة الموجة.

This wave equation permitted free-space solutions that corresponded to electro-magnetic waves with a velocity equal to the known experimental value of the velocity of light.

تسمح معادلة الموجة هذه بالحلول في الفضاء الحر التي تتطابق مع الموجات الكهرومغناطيسية مع سرعة تساوي القيمة التجريبية المعروفة لسرعة الضوء.

The consequent recognition of light as an electromagnetic phenomenon was probably the single most important advance in the progression of its understanding.

وربما كان الاعتراف اللاحق بالضوء كظاهرة كهرمغنطيسية هو التقدم الوحيد الأكثر أهمية في تطور فهمه.

All the important features of light waves follow from a detailed examination of Maxwell's equations. Taking Cartesian axes Ox, Oy, Oz (Figure 3.1), a typical sinusoidal solution is given by

جميع الميزات الهامة للموجات الضوء تتبع من فحص مفصل لمعادلات ماكسويل. أخذ المحاور الديكارتية Ox، Oy، Oz (الشكل 1.3)، يتم إعطاء حل نموذجي للزاوية الجيبية من قبل

$$E_x = E_0 \exp[i(\omega t - kz)] \quad \dots\dots\dots\dots \quad (3.1)$$

$$H_y = H_0 \exp[i(\omega t - kz)] \quad \dots\dots\dots\dots \quad (3.2)$$

Which states that the electric field oscillates sinusoidally in the *xz* plane, the magnetic field oscillates in the *yz* plane (i.e., orthogonally to the *E* field) and in phase with the *E* field, and the wave propagates in the *Oz* direction (Figure 3.1). The frequency and wavelength of the wave are given by

الذي يشير إلى أن المجال الكهربائي يتذبذب بزاوية جيبية في المستوي *xz* ويتذبذب المجال المغناطيسي في المستوي *yz* (أي متعامد على المجال الكهربائي) وفي الطورة مع المجال الكهربائي، وانتشار الموجة في اتجاه *Oz* (الشكل 1.3) . ويعطى التردد والطول الموجي للموجة من قبل

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{..........} \quad (3.3)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad \text{..........} \quad (3.4)$$

An

$$f\lambda = \frac{\omega}{k} = c \quad \text{..........} \quad (3.5)$$

$$c = (\epsilon\mu)^{-1/2} \quad \text{..........} \quad (3.6)$$

Where *c* is the wave velocity. The latter is related to the electromagnetic properties of the medium in which the wave propagates via the relation

حيث c هي سرعة الموجة. وترتبط سرعة الموجة بالخصائص الكهرومغناطيسية للوسط الذي تنتشر فيه الموجة عن طريق العلاقة اعلاه

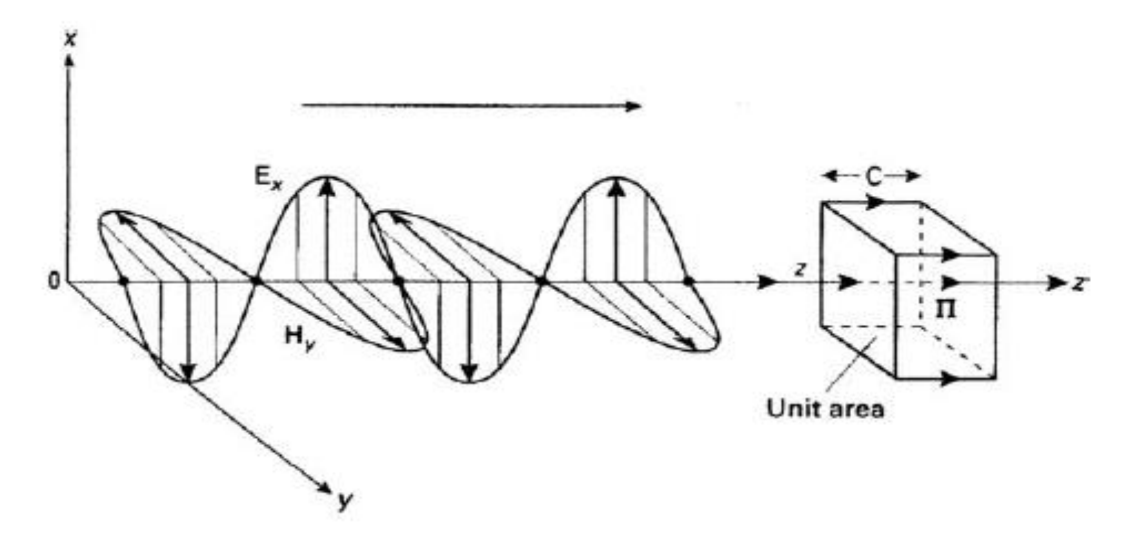


Figure 3.1 Electromagnetic wave and energy flow (Poynting vector:Π).

where ϵ is the electric permittivity of the medium, and μ is its magnetic Permeability. The relation (3.6) can also be written in the following form:

حيث ϵ هي السماحية الكهربائية للوسط، و μ هو النفاذية المغناطيسي للوسط. ويمكن أيضا كتابة العلاقة (6.3) بالشكل التالي:

$$c = (\epsilon_R \epsilon_0 \mu_R \mu_0)^{-1/2} \qquad \text{..........} \quad (3.7)$$

That is,

$$\boldsymbol{\epsilon = \epsilon_R \epsilon_0}$$
$$\boldsymbol{\mu = \mu_R \mu_0}$$

Where ϵ_R, μ_R are the permittivity and permeability factors for the medium relative to those for free space, ϵ_0, μ_0; ϵ_R is often called the dielectric constant.

حيث ϵ_R، μ_R هي عوامل السماحية والنفاذية للوسط وبالنسبة إلى ϵ_0، μ_0 هي عوامل السماحية و النفاذية للفضاء الحر

و غالبا ما تسمى ϵ_R ثابت العزل الكهربائي.

The electric displacement **D** and the magnetic flux density **B** are defined by the following relations:

ويعرف **D** بالازاحة الكهربائية و**B** بكثافة التدفق المغناطيسي بالعلاقات التالية:

$$\mathbf{D} = \epsilon\, \mathbf{E}$$
$$\mathbf{B} = \mu\, \mathbf{H}$$

(For reasons of symmetry, **D** is sometimes called the electric flux density.) We can, therefore, also write

(ولأسباب التماثل، يطلق على D أحيانا كثافة التدفق الكهربائي) و يمكننا الكتابة أيضاً

$$C = \frac{c_0}{(\epsilon_R\, \mu_R)^{1/2}} \qquad \text{..........} \quad (3.8)$$

Where c_0 is the velocity of the electromagnetic wave in free space, and has the (defined) value:

حيث C_0 هي سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في الفضاء الحر، ولها قيمة (محددة):

$$C_0 = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

For most optical medium of any importance we have $\mu_R \sim 1$ and $\epsilon_R > 1$. These materials belong to the class known as dielectrics and many are electrical Insulators. Thus we may write (3.8) in the form
بالنسبة لمعظم الاوساط البصرية من الأهمية لدينا $\mu_R \sim 1$ و $\epsilon_R > 1$. هذه المواد تنتمي إلى الطبقة المعروفة باسم العوازل والعديد من العوازل الكهربائية. وبالتالي يمكننا كتابة معادلة (8.3) بالشكل التالي:

$$c = \frac{C_0}{(\epsilon_R)^{1/2}} \qquad \text{..........} \quad (3.9)$$

and note that $c < c_0$. The ratio c_0/c is, by definition, the refractive index n of the medium, so that
ونلاحظ أن $c_0 > c$. والنسبة c_0 / c هي، بحكم التعريف لمعامل الانكسار n للوسط، بحيث

$$n = \frac{C_0}{c} \qquad \text{..........} \quad (3.10)$$

$$n \approx \epsilon_R^{1/2} \qquad \text{..........} \quad (3.11)$$

where n is thus the factor by which light travels more slowly in an optical medium than it does in free space. Now ϵ_R is a measure of the ease with which the medium can be polarized electrically by the action of an external electric field (i.e., the ease with which the centers of positive and negative atomic electric charge can be separated).

حيث n هو العامل الذي ينتقل الضوء ببطء أكثر في الاوساط البصرية مما هو عليه في الفضاء الحر. الآن ϵ_R هو اسهل مقياس التي يمكن استقطاب الوسط كهربائيا من خلال عمل مجال كهربائي خارجي (أي، السهولة التي يمكن فصل مراكز الشحنة الكهربائية الذرية الإيجابية والسلبية).

This polarization depends on the mobility of the electrons, within the atom or molecule, in the face of resistance by molecular forces.

هذا الاستقطاب يعتمد على حركة الإلكترونات، داخل الذرة أو الجزيء، في مواجهة المقاومة من قبل القوى الجزيئية. ومن الواضح أن ϵ_R سيعتمد على تردد

Clearly then, ϵ_R will depend on the frequency of the applied electric field, since it will depend on how quickly these forces can respond to the field.

المجال الكهربائي المطبق، لأنه سيعتمد على مدى سرعة هذه القوى التي يمكن أن تستجيب لهذا المجال.

Thus, (3.11) will be true only if n and ϵ_R refer to the same frequency of wave; hence we also note that n is frequency dependent.

وبالتالي، (11.3) لن يكون صحيحا إلا إذا كان n و ϵ_R يشيران إلى نفس تردد الموجة؛ ومن هنا نلاحظ أيضا أن n يعتمد على التردد.

3.2.2 Energy, Power, and Intensity

2.2.3 الطاقة والقدرة والكثافة

Let us now consider the energy content of the wave. For an electric field, the energy per unit volume.

دعونا الآن النظر في محتوى الطاقة من الموجة. في مجال كهربائي، والطاقة لكل وحدة حجم.

$$u_E = \frac{1}{2}\epsilon E^2 \qquad \text{..........} \quad (3.12)$$

and for a magnetic field

$$u_H = \frac{1}{2}\mu H^2 \qquad \text{..........} \quad (3.13)$$

Maxwell's equations relate E and H for an electromagnetic wave according to the following equation:

ربط معادلة ماكسويل E و H للموجة الكهرومغناطيسية وفقا للمعادلة التالية:

$$H = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} E \qquad \text{..........} \quad (3.14)$$

Hence the total energy density in the wave is given by

وبالتالي فإنها تمثل كثافة الطاقة الإجمالية في الموجة

Consider now the plane wave propagating in the direction Oz (Figure 3.1). The total energy flowing across unit area in unit time in the direction Oz will be that contained within a volume c m^3, where c is the wave velocity.

نعتبر الآن انتشار مستوي الموجة في اتجاه Oz (الشكل 1.3). مجموع الطاقة المتدفقة عبر وحدة المساحة في وحدة الزمن في اتجاه Oz سيكون محتوى ضمن الحجم c m^3، حيث c هو سرعة الموجة.

$$u = u_E + u_H = \epsilon E^2 = \mu H^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.15)$$

Hence the power flux across unit area is given by
ومن ثم يعطى تدفق القدرة عبر منطقة الوحدة من قبل

$$\frac{\text{power}}{\text{area}} = c\epsilon E^2 = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} E^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.16)$$

Clearly, if the electric field E varies sinusoidally, this quantity also will vary sinusoidally; for example, if
من الواضح، إذا كان المجال الكهربائي E مختلف زاوية الجيب ، فإن هذه الكمية أيضا مختلفه بقيمه الجيب . على سبيل المثال، إذا

$$E = E_0 \cos \omega t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.17)$$

$$\frac{\text{power}}{\text{area}} = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} \cdot E_0^2 \cos^2 \omega t = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{2} E_0^2 (1 + \cos 2\omega t) \ \ldots \ (3.18)$$

The average value of this quantity over one period of oscillation is called the intensity of the wave (sometimes the irradiance) and clearly represents the measurable power per unit area for any device which cannot respond to optical frequencies (i.e., the vast majority). Hence we have

ويسمى متوسط قيمة هذه الكمية على مدى فترة واحدة من التذبذب شدة الموجة (أحيانا الإشعاع) ويمثل بوضوح القدرة القابلة للقياس لكل وحدة من الوحدات لأي جهاز لا يمكن أن يستجيب للترددات البصرية (أي الغالبية العظمى). وبالتالي لدينا

$$I = \left\langle \frac{\text{power}}{\text{area}} \right\rangle = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} \langle E^2 \rangle = \left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2} \frac{1}{2} E_0^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.19)$$

where $\langle \ \rangle$ denotes the (average value) since cos 2ωt averages to zero.

حيث يشير ⟨ ⟩ إلى (قيمة المتوسط) حيث أن متوسطات cos 2ωt إلى الصفر.

Clearly I is proportional to the square of the electric field amplitude and also it will be proportional to the square of the magnetic field amplitude. The quantity I has SI units of watts.meters^{-2}.

ومن الواضح أن (I) يتناسب مع مربع سعة المجال الكهربائي و أيضا فإنه سيكون متناسبا مع مربع سعة المجال المغناطيسي.

كمية I وحدات SI من watts.meters^{-2}.

More generally, the intensity is expressed in terms of the Poynting vector Π :

وبشكل أعم، يتم التعبير عن شدة من حيث ناقلات بوينتيغ (Π):

$$\Pi = E \times H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.20)$$

Where E and H are now vector quantities and E × H is their vector product. The intensity of the wave will be the value of Π averaged over one period of the wave. If E and H are spatially orthogonal and in phase, as in the case of a wave propagating in an isotropic dielectric medium, then

حيث E و H هي الآن كميات متجه و H × E هو ناتج المتجه. وستكون شدة الموجة هي قيمة Π المتوسطة خلال فترة واحدة من الموجة. إذا كان E و H متعامدين مكانيا وفي نفس الطور، كما هو الحال في موجة الانتشار في وسط عازل متماثل، ثم

$$I = \langle \Pi \rangle = c\mu H^2 = c\epsilon E^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.21)$$

as before. As is to be expected, in some more exotic cases (e.g., anisotropic media), the E and H components are neither orthogonal nor in phase, but $\langle \Pi \rangle$ will still provide the average power flow across unit area. If, for example, E and H happened to be in phase quadrature, then we should have

كما سبق. وكما هو متوقع، في بعض الحالات الأكثر غرابة (على سبيل المثال، وسط متباين الخواص)، فإن مكونات E و H ليست متعامدة ولا في نفس الطور، ولكن <Π> سيظل يوفر متوسط تدفق القدرة عبر منطقة الوحدة. إذا، على سبيل المثال، حدث E و H في مرحلة التربيع، ثم يجب أن يكون

$$I = \langle \Pi \rangle = \langle E_0 \cos \omega t \cdot H_0 \sin \omega t \rangle = 0 \ldots\ldots\ldots \quad (3.22)$$

and thus there is no mean power flow. (This result should be noted for reference to the case of evanescent waves, which will be considered later.)

وبالتالي فهذا يعني ليس هناك تدفق الطاقة. (وينبغي الإشارة إلى هذه النتيجة للإشارة إلى حالة الموجات الزائدة، التي سينظر فيها لاحقا).

In an optical medium with $\mu_R \sim 1$, (3.19) can be written as

في وسط بصري مع $\mu_R \sim 1$، (19.3) يمكن أن تكتب كما يلي

$$I = \left(\frac{\epsilon_R \epsilon_0}{\mu_R \mu_0} \right)^{1/2} \frac{1}{2} E_0^2 = n \left(\frac{\epsilon_0}{\mu_0} \right)^{1/2} \frac{1}{2} E_0^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.23)$$

Where n is, again, the refractive index of the medium. Note that I am proportional to E^2_0: this is an important relationship which will be re-emphasized shortly.

The quantity $(\epsilon_0 / \mu_0)^{1/2}$ is sometimes called the impedance of free space and given the symbol Z_0. This is because, in free space

حيث n هو، معامل الانكسار للوسط. لاحظ أن I متناسبة مع E^2_0: هذه هي علاقة هامة والتي سيتم إعادة التأكيد عليها قريبا.

وتسمى الكمية $(\epsilon_0 / \mu_0)^{1/2}$ في بعض الأحيان مقاومة المساحة الحرة وتعطى الرمز Z_0.
وذلك لأنها، في الفضاء الحر

$$\frac{E}{H}=\left(\frac{\mu_0}{\epsilon_0}\right)^{1/2}=Z_0 \qquad \text{..........} \quad (3.24)$$

Since E has dimensions of volts.meters^{-1} and H of amps.meters^{-1}, Z_0 clearly has the dimensions of impedance (ohms); Z_0 is real and has the value
بما أن E لديها وحدات (volts.meters^{-1}) و H لديها وحدات (amps.meters^{-1})، Z0 بوضوح أبعاد المقاومة (أوم). Z_0 حقيقي وله القيمة

$$\left(\frac{\mu_0}{\epsilon_0}\right)^{1/2}=\left(\frac{4\pi\times10^{-7}}{8.854\times10^{-12}}\right)^{1/2}=376.7\text{ ohms} \qquad \text{.........} \quad (3.25)$$

It follows that (3.23) can be written as

$$I=\frac{n}{2Z_0}E_0^2=\frac{n}{753.46}E_0^2=1.33\times10^{-3}nE_0^2 \qquad \text{..........} \quad (3.26)$$

This is a useful relationship in two ways.

هذه علاقة مفيدة بطريقتين.

First, it relates a quantity thatis directly measurable (I) with one which is not (E_0).

أولا، انها تتعلق بالكمية التي يمكن قياسها مباشرة (I) مع واحد والذي ليس (E_0).

Second, it provides the actual numerical relationship between I and E_0, and this is valuable when designing devices and systems, as we shall discover later.

ثانيا، فإنه يوفر العلاقة العددية الفعلية بين I و E_0، وهذا هو قيمته عند تصميم الأجهزة والأنظمة، كما سنكتشف في وقت لاحق.

3.3 Interference of Light

3.3 تداخل الضوء

We have seen that light consists of oscillating electric and magnetic fields. We know that these fields are vector fields since they represent forces (on unit charge and unit magnetic pole, respectively).

لقد رأينا أن الضوء يتكون من المجالات الكهربائية والمغناطيسية المتذبذبة. ونحن نعلم أن هذه المجالات هي مجالات ناقلات لأنها تمثل قوة (من حيث المبدء وحدة الشحنة و وحدة القطب المغناطيسي، على التوالي).

The fields will thus add vectorially. Consequently, when two light waves are superimposed on each other, we obtain the resultant by constructing their vector sum at each point in time and space, and this fact has already been used in consideration of the polarization of light.

وبالتالي فإن الحقول سوف تضيف اتجاه. وبالتالي، عندما يتم فرض موجتين ضوئيتين على بعضها البعض، نحصل على نتيجة من خلال بناء مجموع ناقلات في كل نقطة من الزمان والمكان، وهذه الحقيقة قد استخدمت بالفعل في استقطاب الضوء .

If two sinusoids are added, the result is another sinusoid. Suppose that two light waves given, via their electric fields, as

إذا تم إضافة اثنين من زوايا الجيب والنتيجة هي زاويه جيبية أخرى. لنفترض أن اثنين من موجات الضوء المعطاه، عن طريق المجالات الكهربائية، هما

$$e_1 = E_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad \text{..........} \quad (3.27)$$

$$e_2 = E_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \quad \text{..........} \quad (3.28)$$

Have the same polarization and are superimposed at a point in space. We know that the resultant field at the point will be given, using elementary trigonometry, by

لديهم نفس الاستقطاب ويتم فرضه في نقطة في الفضاء. ونحن نعلم أن الحقل الناتجة في هذه النقطة سوف تعطى، وذلك باستخدام علم المثلثات الأولية، من قبل

$$e_T = E_T \cos(\omega t + \varphi T) \quad \text{..........} \quad (3.29)$$

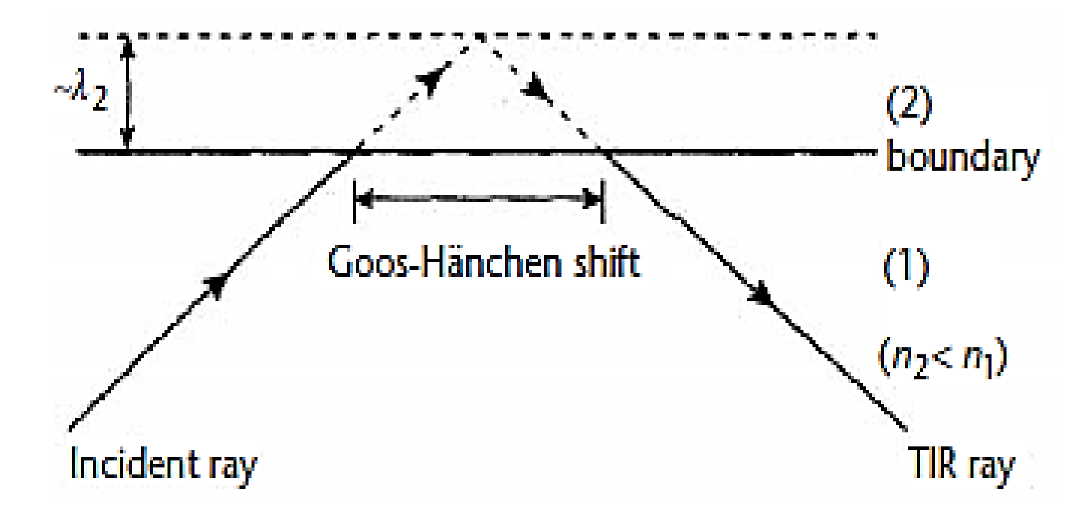


Figure 3.2 The Goos-Hanchen shift on total internal reflection

Where

$$E_T^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \qquad \dots\dots\dots\dots \quad (3.30)$$

and

$$\tan \vartheta_T = \frac{E_1 \sin \varphi_1 + E_2 \sin \varphi_2}{E_1 \cos \varphi_1 + E_2 \cos \varphi_2} \qquad \dots\dots\dots\dots \quad (3.31)$$

For the important case where $E1 = E2 = E$, say, we have

$$E_T^2 = 4E^2 \cos^2 \frac{1}{2}(\varphi_2 - \varphi_1) \qquad \dots\dots\dots\dots \quad (3.32)$$

and

$$\tan \phi_T = \tan \frac{1}{2}(\varphi_2 + \varphi_1) \qquad \dots\dots\dots\dots \quad (3.33)$$

The intensity of the wave will be proportional to E^2T so that, from it can be seen to vary from $4E^2$ to 0, as $(\varphi_2 - \varphi_1)/2$ varies from 0 to $\pi/2$. Consider now the arrangement shown in Figure 3.2.

وستكون شدة الموجة متناسبة مع E^2T بحيث يمكن أن يتفاوت قيمة من $4E^2$ إلى 0، حيث يتغير $2 / (\varphi2 - \varphi1)$ من 0 إلى $\pi/2$ انظر الترتيب المبين في الشكل 2.3.

Here two slits, separated by a distance *p*, are illuminated by a plane wave with wavelength. The portions of the wave that pass through the slits will interfere on the screen *S*, a distance *d* away. Now each of the slits will act as a source of cylindrical

هنا الشقين، مفصولتان بمسافة p ، تضيء مستوي الموجة مع الطول الموجي λ. أجزاء من الموجة التي تمر عبر الشقوق سوف تتداخل على الشاشة S، التي تكون بعيدة بمسافة d. الآن كل من الشقين سوف يكون بمثابة مصدر أسطواني

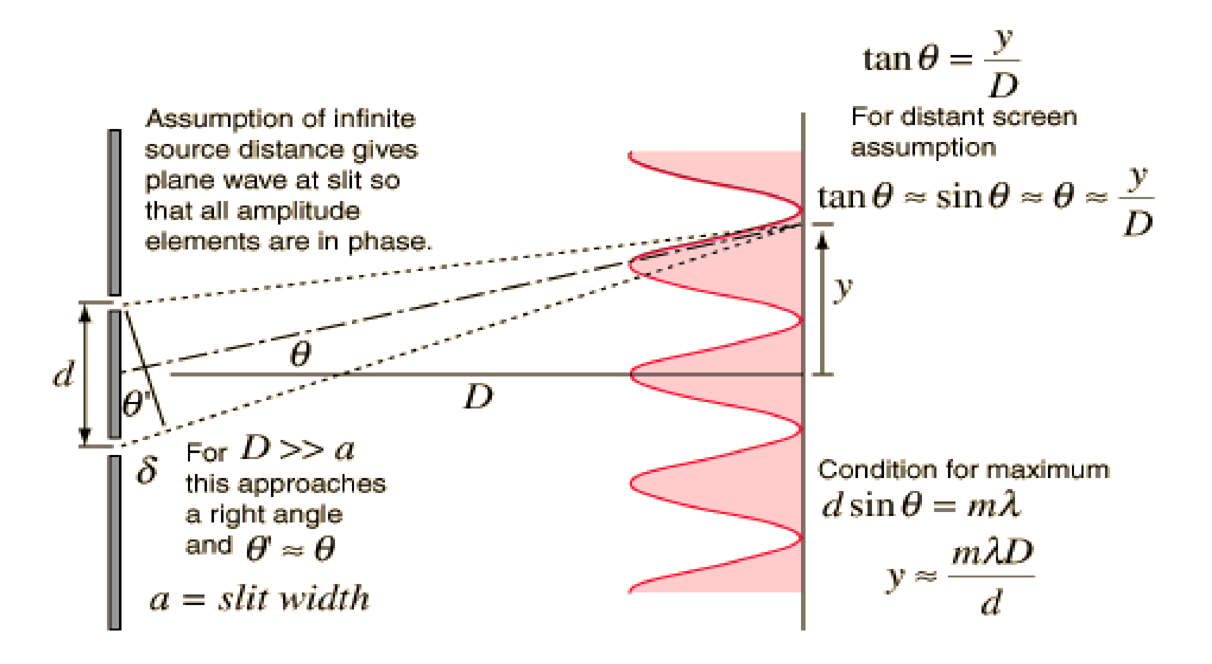


Figure 3.3 ''Young's slits'' interference.

Waves, from Huygens' Principle. Moreover, since they originate from the same plane wave, they will start in phase.

موجات، من مبدأ هيغنز. وعلاوة على ذلك، لأنها تنشأ من نفس مستوي الموجة ، وسوف تبدأ في الطور.

On a line displaced a distance s from the line of symmetry on the screen, the waves from the two slits will differ in phase by

على خط ازاحة مسافة s من خط التماثل على الشاشة، فإن موجات من الشقوق اثنين تختلف في الطور من قبل

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{sp}{d} \qquad (d \gg s, p) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.34)$$

Thus, as s increases, the intensity will vary between a maximum and zero, in accordance). These variations will be viewed as fringes (i.e., lines of constant intensity parallel with the slits).

وهكذا، كلما زادت s، فإن الكثافة تتراوح بين الحد الأقصى والصفر، سيتم النظر إلى هذه الاختلافات على أنها هامش (أي خطوط كثافة ثابتة متوازية مع الشقوق).

They are known as Young's fringes, after their discoverer, and are the simplest example of light interference. Such interference is an essential feature of any wave motion, and light interference effects and phenomena pervade the whole of optical physics, phenomena which can be used in a wide variety of complex and, sometimes, quite subtle ways.

وهي تعرف باسم أهداب يونغ، بعد اكتشافها، وهي أبسط مثال على تداخل الضوء. ويعتبر هذا التداخل سمة أساسية من سمات أي حركة موجية، وتأثيرات تداخل الضوء وهذه الظواهر تنتشر في جميع الفيزياء البصرية، وهي الظواهر التي يمكن استخدامها في مجموعة واسعة من الطرق المعقدة، وفي بعض الأحيان، دقيقة تماما.

3.4 Diffraction

4.3 الحيود

was noted that each point on a wavefront could be regarded formally and rigorously as a source of spherical waves. and was noted that any two waves, when superimposed, will interfere. Consequently wavefronts can interfere with themselves and with other, separate, wavefronts.

لوحظ أنه يمكن اعتبار كل نقطة على جبهة الموجة تأخذ بشكل دقيق كمصدر للموجات الكروية. ولوحظ أن أي موجتين، عندما تركب، سوف تتداخل. وبالتالي، يمكن أن تتداخل جبهات الموجات مع نفسها ومع جبهة موجة أخرى منفصلة.

To the former usually is attached the name *diffraction*, and to the latter *interference*, but the distinction is somewhat arbitrary and, in several cases, far from clear-cut.

وعادة يتم إرفاق اسم الحيود، وعلى التداخل الأخير، ولكن التمييز تعسفي او اعتباطي إلى حد ما، وفي العديد من الحالات، لا يزال التمييز بعيدا عن الوضوح.

Diffraction of light may be regarded as the limiting case of multiple interference as the source spacing become infinitesimally small.

ويمكن اعتبار حيود الضوء على أنه حالة الحد من التداخل المتعدد حيث تصبح المسافات بين المصدر صغيرة إلى حد ما.

Consider the slit aperture in Figure 3.3. This slit is illuminated with a uniform plane wave and the light which passes through the slit is observed on a screen which is sufficiently distant from the slit for the light which falls upon it to be effectively,

نعتبر ان فتحة الشق كما في الشكل 3.3 حيث يضيء هذا الشق مع مستوي الموجة موحدة والضوء الذي يمر من خلال الشق لوحظ على الشاشة التي هي بعيدة بما فيه الكفاية من الشق للضوء الذي يقع عليها لتكون فعالة،

again, a plane wave. These are the conditions for Fraunhofer diffraction. If source and screen are close enough to the slit for the waves not to be plane, we have a more complex situation, known as Fresnel diffraction.

مرة أخرى، مستوي الموجة. هي شروط لحيود فرونهوفر. إذا كان مصدر وشاشة قريبة بما فيه الكفاية إلى شق للأمواج لا يكون المستوي، لدينا حالة أكثر تعقيدا، والمعروفة باسم **حيود فرينل**.

Fraunhofer diffraction is by far the more important of the two, and is the only form of diffraction we shall deal with here. Fresnel diffraction usually can be transformed into Fraunhofer diffraction, in any case, by the use of lenses which render the waves effectively plane, even over short distances.

حيود فراونهوفر هو إلى حد بعيد أكثر أهمية من الثاني، وهو الشكل الوحيد من الحيود سنقوم التعامل معها هنا. ويمكن أن يتحول حيود فرينل عادة إلى حيود فرونهوفر، في أي حال، من خلال استخدام العدسات التي تجعل الموجات بشكل مستويات فعالة، حتى على مسافات قصيرة.

Fraunhofer Diffraction versus Fresnel Diffraction	حيود فرانهوفر مقابل حيود فرينل
In optics, Fraunhofer diffraction (named after joseph vcn Fraunhofer), or far-field diffraction, is a form of wave diffraction that occurs when field waves are passed through an aperture or silt causing only the size of an observed aperture image to change due to the far-field location of observation and the increasingly planar nature of outgoing diffracted waves passing through the aperture.	في البصريات، فإن حيود فراونهوفر (الذي اطلق عليه نسبه الى العالم جوزيف فن فراونهوفر)، أو حيود المجال البعيد، هو شكل من أشكال حيود الموجة الذي يحدث عندما تمر موجات المجال من خلال فتحة أو شق مما يؤدي فقط إلى تغيير حجم صورة الفتحة الملاحظة بسبب موقع المجال البعيد من المراقبة وطبيعة المستوي بشكل متزايد للموجات المحيدة الصادرة التي تمر من خلال الفتحة.
It is observed at distances beyond the near–field distance of Fresnel diffraction, which affects both the size and shape of the observed aperture image, and occurs only when the Fresnel number $F \ll 1$ wherein the parallel rays approximation can be applied.	ويلاحظ عند مسافات تتجاوز المسافة القريبة من المجال للحيود فرينل، التي تؤثر على كل من حجم وشكل صورة الفتحة الملاحظة، ويحدث فقط عندما يكون عدد فرينل $F \ll 1$ حيث يمكن تطبيق تقريب الأشعة الموازية.
On the other hand, Fresnel diffraction or near-field diffraction is a process of diffraction that occurs when a wave passes through an aperture and diffracts in the near field, causing any diffraction pattern observed to differ to differ in size and shape.	ومن ناحية أخرى، فإن حيود فرينل أو حيود المجال القريب هو عملية حيود تحدث عندما تمر الموجة عبر فتحة والحيود في المجال القريب، مما يتسبب في اختلاف ملاحظة نمط الحيود باختلاف الحجم و الشكل.
Depending on the distance between the aperture and the projection. It occurs due to the short distance in which the	اعتمادا على المسافة بين الفتحة والإسقاط الضوئي على الشاشة. ويحدث ذلك بسبب المسافة القصيرة التي تنتشر فيها موجات حيود الضوء، مما يؤدي

diffracted waves propagate, which results in a Fresnel number greater than 1 (F>1). When the distance is increased, outgoing diffracted waves become planar and Fraunhofer diffraction occurs.

إلى عدد فرينل أكبر من 1 (F> 1).

عندما يتم زيادة المسافة، فأن الموجات المحيدة الصادرة تصبح مستوية ويحدث حيود فراونهوفر.

Parameter	Fraunhofer Diffraction	Fresnel Diffraction
Wave fronts	Cylindrical wave fronts are used	Plane wave fronts are used
جبهة الموجة	وتستخدم جبهات الموجة الاسطوانية	وتستخدم جبهات الموجة المستوية
Lens	Convex lens is used	Convex lens is not used
العدسة	يتم استخدام عدسة محدبة، لتجميع الضوء.	لا يتم استخدام عدسة محدبة، لان لاحاجة الى تجميع الضوء.
Distance Of source screen	Source of screen are at infinite distance	Source of screen are at finite distance from the obstacle.
المسافة من مصدر الشاشة	مصدر الشاشة هي في المسافة الانهائية	مصدر الشاشة على مسافة محدودة من الحاجز.
Diffraction patterns	The shape of the intensity of a fraunhofer diffraction pattern stays constant	Change as we propagate them further 'downstream' of source of scattering
أنماط الحيود	شكل شدة نمط حيود فراونهوفر يبقى ثابتا	تغيير انتشارها يزيد من مصدر الاستطارة "مع التيار"
Surface of calculation	Fraunhofer diffraction patterns on spherical surfaces	Fresnel diffraction patterns on flat surfaces
المظر الخارجي	أنماط حيود فراونهوفر على شكل أسطح كروية	أنماط حيود فرينل على شكل أسطح مسطحة
Movement of diffraction pattern	Fixed in position	Move in a way that directly corresponds with any shift in the object
اتجاه نمط الانحراف	ثابت في المركز	يتحرك بطريقة تتطابق مباشرة مع أي تحول في الهدف.

Suppose that in Figure 3.4 the amplitude of the wave at distances between x and $x + dx$ along the slit is given by the complex quantity $f(x)\,dx$, and consider the effect of this at angle φ , as shown. (Since each point on the wavefront acts as a source of spherical waves, all angles will, of course, be illuminated by the strip).

لنفترض أنه في الشكل 4.3 يتم إعطاء اتساع الموجة على مسافات بين (x) و$(x + dx)$ على طول الشق بواسطة الكمية المركبة $f(x)\,dx$ ، والنظر في تأثير ذلك عند الزاوية φ، كما هو مبين. (بما أن كل نقطة على جبهة الموجة تعمل كمصدر للموجات الكروية، فإن جميع الزوايا ستكون بالطبع مضيئة من قبل الشريط).

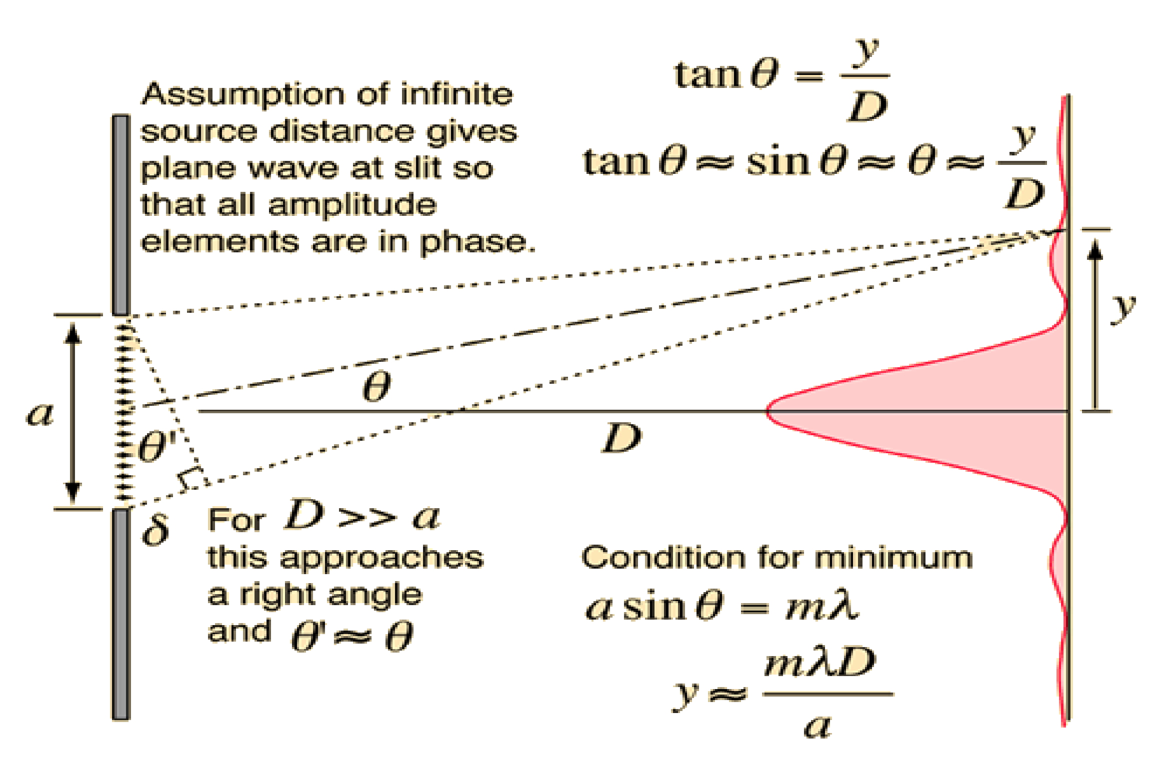


Figure 3.4 Diffraction of a slit.

The screen being effectively infinitely distant from the slit, will be illuminated at one point by the light leaving the slit at angles

الشاشة تكون بعيدة بشكل نهائي فعال من الشق، وسوف تكون مضيئة في نقطة واحدة من الضوء خارج الشق في زوايا بين φ و φ + dφ.

between φ and φ + *d*φ .

Taking the bottom of the slit as the phase reference, the light, on arriving at the screen, will lead by a phase

أخذ الجزء السفلي من الشق كمرجع المرحلة، وعلى ضوء، عند وصوله إلى الشاشة، سوف تؤدي الطور

$$\Phi = kx \sin \vartheta \qquad \text{..........} \quad (3.35)$$

and hence the total amplitude in directions φ to φ + d will be given by
وبالتالي فإن السعة الكلية للاتجاهات φ إلى d + φ ستعطى بواسطة

$$A(\vartheta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(-ikx \sin \vartheta)\, dx \qquad \text{..........} \quad (3.36)$$

We can also write

$$A(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(-i\alpha x)\, dx \qquad \text{..........} \quad (3.37)$$

With

$$\alpha = k \sin \vartheta$$

Hence *A*(*α*) and *f* (*x*) constitute a reciprocal Fourier transform pair that is, each is the Fourier transform of the other. This is an important result.

ومن هنا نعرف ان (α) و f (x) تشكل زوج تحويل فورييه المتبادلة وهذا هو، كل تحويل فورييه من الآخر.هذا نتيجة مهمة.

For small values of it implies that the angular distribution of the diffracted light is the Fourier

لقيم صغيرة من هذا يعني أن التوزيع الزاوي لحيود الضوء هو تحويل فورييه لتوزيع سعة الفتحة.

transform of the aperture's amplitude distribution.

Let us see how this works for some simple cases. Take first a uniformly illuminated slit of width *s*. The angular distribution of the diffracted light will now be

دعونا نرى كيف يعمل هذا لبعض الحالات البسيطة. تأخذ أولا شكل شق مضيء موحد العرض s. التوزيع الزاوي لحيود الضوء سيكون

$$A(k \sin \vartheta) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} a \exp(-ikx \sin \vartheta)\, dx \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3.38)$$

Where α is the (uniform) amplitude at the slit per unit of slit width. Hence,
حيث α هي السعة (الموحدة) عند الشق لكل وحدة من عرض الشق. بالتالي،

$$A(k \sin \vartheta) = a \frac{\sin\left(\frac{1}{2} ks \sin \vartheta\right)}{\left(\frac{1}{2} ks \sin \vartheta\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.39)$$

Writing, for convenience,

$$\beta = \frac{1}{2} ks \sin \vartheta,$$

We find that the intensity in a direction φ is given by

$$I(\vartheta) = (as)^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.40)$$

Where I_0 is intensity at the center of the diffraction pattern. This variation is shown in Figure 3.4

حيثما I_0 شدة في مركز نمط الحيود. ويظهر هذا الاختلاف في الشكل 4.3، كما هو الحال في حالة التداخل المتعدد بين المصادر

and, as in the case of multiple interference between discrete sources, its shape is a result of the addition of wave vectors with phase increasing steadily with φ .

المنفصلة، فإن شكله هو نتيجة لإضافة ناقلات الموجة مع زيادة مطردة في الطور مع φ.

This form of variation occurs frequently in physics across a broad range of applications and it is instructive to understand why. The function appropriate to the variation is given the name ‘‘sinc’’ (pronounced ‘‘sink’’); that is,

هذا الشكل من الاختلاف يحدث في كثير من الأحيان في الفيزياء عبر مجموعة واسعة من التطبيقات ومن المفيد أن نفهم لماذا.

وتعطى الدالة المناسبة لتغير الاسم ‘‘sinc’’ (او يلفظ بوضوح ‘‘sink’’)؛ هذا هو،

$$\operatorname{sinc}(\beta) = \frac{\sin \beta}{\beta} \qquad \text{..........} \quad (3.41)$$

$$\operatorname{sinc}^2(\beta) = \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \qquad \text{..........} \quad (3.42)$$

Let us examine the physical reason for the sinc function in the case we have been considering (i.e., a uniformly illuminated slit). In this case each infinitesimal element of the slit provides a wave amplitude a dx and at the center of the screen all of these elements are in phase, producing a total amplitude, *as*.
Hence it is possible to represent all these elementary vectors as a

دعونا ندرس السبب المادي لدالة sinc في الحالة التي كنا ننظر فيها (أي، الشق مضيئة بشكل موحد).

في هذه الحالة كل عنصر لانهائي من الشق يوفر dx السعة الموجية وفي وسط الشاشة كل هذه العناصر هي في مرحلة، مما ينتج اتساع الكلي.

ومن ثم يمكن تمثيل جميع هذه النواقل الأولية كخط مستقيم (حيث تكون كلها في طور من

straight line (since they are all in phase) of length *as* [Figure 3.5(a)]. Now consider the situation at angle φ to the axis. As already shown the ray from the bottom of the slit lags that from the top by a phase

الطول كما [الشكل 5.3(a)]. الآن النظر في الوضع في زاوية φ إلى المحور. كما أظهرت بالفعل شعاع من الجزء السفلي من الشق يتخلف من أعلى مرحلة

$$\varphi_T = ks \sin \vartheta = 2\beta \qquad \text{..........} \quad (3.43)$$

The result can, therefore, be depicted as in Figure 3.5(b).

وبالتالي يمكن وصف النتيجة كما هو مبين في الشكل 3-5 (b).

The first and last infinitesimal vectors are inclined at 2 **B** to each other and the intervening vectors form an arc of a circle that subtends 2**B** at the circle's center.

وتميل النواقل اللامتناهية الأولى والأخيرة في 2 **B** إلى بعضها البعض وتشكل النواقل المتداخلة قوسا من الدائرة التي تقطع 2 **B** في مركز الدائرة.

The vector addition of all the vectors thus leads to a resultant that is the chord across the arc in Figure 3.5(b). Simple geometry gives the length of this chord as

وبالتالي فإن إضافة ناقلات جميع النواقل تؤدي بالتالي إلى نتيجة هذا الوتر عبر القوس في الشكل 5.3 (b). هندسة بسيطة يعطي طول هذا الوتر كما

$$A(\theta) = 2r \sin \beta \qquad \text{..........} \quad (3.44)$$

where r is the radius of the circle. Now the total length of the arc is the same as that of the straight line when all vectors were in phase (i.e., as); hence,

حيث r هو نصف قطر الدائرة. الآن الطول الكلي للقوس هو نفسه كما في خط مستقيم عندما كانت جميع ناقلات في المرحلة و بالتالي،

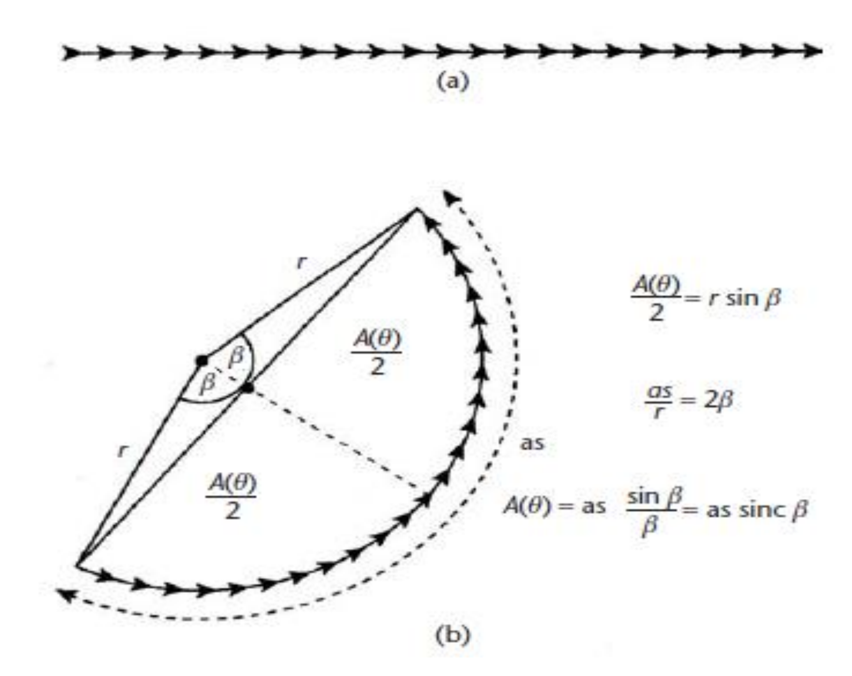


Figure 3.5 Graphical explanation of the sinc function: (a) vectors in phase; and (b) vectors with a progressive phase advance.

$$\frac{as}{r} = 2\beta \quad \text{..........} \quad (3.45)$$

and thus, substituting for *r* in (3.44) we have

$$A(\vartheta) = as\frac{\sin\ \beta}{\beta} \quad \text{..........} \quad (3.46)$$

Hence the resultant intensity at angle φ will be

$$I(\vartheta) = (as)^2\frac{\sin^2\ \beta}{\beta^2} = I_0\frac{\sin^2\ \beta}{\beta^2} \quad \text{..........} \quad (3.47)$$

The reason for the ubiquity of this variation in physics can now be seen to be due to the fact that one very often encounters situations where there is a systematically increasing phase difference among a large number of infinitesimal vector quantities: optical interference, electron interference, mass spectrometer energies, particle scattering, and so on.

ويمكن الآن النظر إلى سبب انتشار هذا الاختلاف في الفيزياء الآن ويرجع ذلك إلى حقيقة واحدة أن في كثير من الأحيان تواجه حالات حيث يكون هناك زيادة منتظمة الطور المرحلة بين عدد كبير من كميات ناقلات متناهي الصغر: التداخل البصري، التداخل الإلكترون، الطيف الكتلي الطاقات، تشتت الجسيمات، وهلم جرا.

The principles which lead to the sinc function are all exactly the same, and are those which have just been described.

Let us return now to the intensity diffraction pattern for a slit.

المبادئ التي تؤدي إلى وظيفة المخلوطة كلها بالضبط نفس، وهي تلك التي وصفت للتو.

دعونا نعود الآن إلى نمط حيود كثافة الشق.

$$I(\vartheta) = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \qquad \text{..........} \quad (3.48)$$

An important feature of this variation is the scale of the angular divergence.

The two minima immediately on either side of the principal maximum (at φ = 0) occur when

ومن السمات الهامة لهذا الاختلاف قياس الانحراف الزاوي.

الحد الأدنى مباشرة على جانبي الحد الأقصى الرئيسي (في φ = 0) عندما تحدث

$$\beta = \frac{1}{2}(ks)\sin\vartheta = \pm\pi \qquad \text{..........} \quad (3.49)$$

Giving

$$\sin\vartheta = \pm\frac{\lambda}{s}$$

---

so that, if φ is small, the width of the central maximum is given by

$$\theta_w = 2\vartheta = \pm\frac{2\lambda}{s}$$

Thus, the smaller ***s*** is for a given wavelength the more quickly the light energy diverges, and vice versa. This is an important determinant of general behavior in optical systems.

وهكذا، كلما كان ***s*** أصغر بالنسبة لطول موجي معين كلما زادت طاقة الضوء بسرعة أكبر، والعكس بالعكس. هذا هو محدد مهم للسلوك العام في الأنظمة البصرية.

As a second example, consider a sinusoidal variation of amplitude over the aperture.

وكمثال ثان، نعتبر في وجود تغير جيبي للسعة فوق الفتحة العددية.

The Fourier transform of a sinusoid consists of one positive and one negative ‘‘frequency’’ equally spaced around the origin. Thus, the diffraction pattern consists of just two lines of intensity equally spaced about the center position of the observing screen (Figure 3.6).

يتكون تحويل فورييه من زاوية جيب واحدة إيجابي وواحدة سلبي " تردد " متباعدة بالتساوي حول الأصل. وهكذا، فإن نمط الحيود يتكون من سطرين فقط من الشدة متساوية التباعد حول الموضع المركزي لشاشة الرصد (الشكل 6.3).

Those two lines of intensity could themselves be photographed to provide a ‘‘two-slit’’ aperture plate that would then provide a sinusoidal diffraction (interference?) pattern. This latter pattern will be viewed as an ‘‘intensity’’ pattern, however, not an ‘‘amplitude’’

وهذان الخطان من الشدة يمكن تصويرهما بأنفسهما لتوفير لوحة فتحة ذات شقين توفر نمطا حيوديا (تداخل). هذا النمط الأخير سوف ينظر إليه على أنه نمط "شدة"، ولكن ليس "اتساع"

Pattern. Consequently, it will not comprise the original aperture,

وبناءً على ذلك فأن النمط، لن يشمل الفتحة الأصلية، التي يجب أن يكون لها اتساع

which must have positive and negative amplitude in order to yield just two lines in its diffraction pattern.

إيجابي وسلبي من أجل إنتاج خطين فقط في نمط حيودها.

Thus, while this example illustrates well the strong relationship that exists between the two functions, it also serves to emphasize that the relationship is between the *amplitude* functions, while the observed diffraction pattern is (in the absence of special arrangements) the *intensity* function.

وهكذا، في حين أن هذا المثال يوضح بشكل جيدا العلاقة القوية القائمة بين الدالتين، فإنه يعمل أيضا على التأكيد على أن العلاقة بين دوال الاتساع، في حين أن نمط حيود لوحظ (في غياب ترتيبات خاصة) دالة كثافة.

Finally, we consider one of the most important examples of all: a rectangular:

وأخيرا، نعتبر أحد أهم الأمثلة على ذلك: المتعامدة

Wave aperture amplitude function. The function is shown in Figure 3.7.

دالة موجة قيمة الفتحة. وتظهر الدالة في الشكل 7.3.

This is equivalent to a set of narrow slits (i.e., to a diffraction grating). The Fourier transform (and hence the Fraunhofer diffraction pattern) will be a set of discrete lines of intensity, spaced uniformly to accord with the ‘‘fundamental’’

وهذا يعادل مجموعة من الشقوق الضيقة (أي إلى مشبك حيود). إن تحويل فورييه (ومن ثم نمط حيود فراونهوفر) سيكون مجموعة من الخطوط المنفصلة من الشدة، متباعدة بشكل موحد متطابقة مع " الأساسية "

frequency of the aperture function, and enveloped by the Fourier transform of one slit. If the aperture function extended to infinity in each direction then the

تردد دالة الفتحة، ويغلفها تحويل فورييه من شق واحد. إذا امتدت دالة فتحة العدسة إلى ما لا نهاية في كل اتجاه ثم

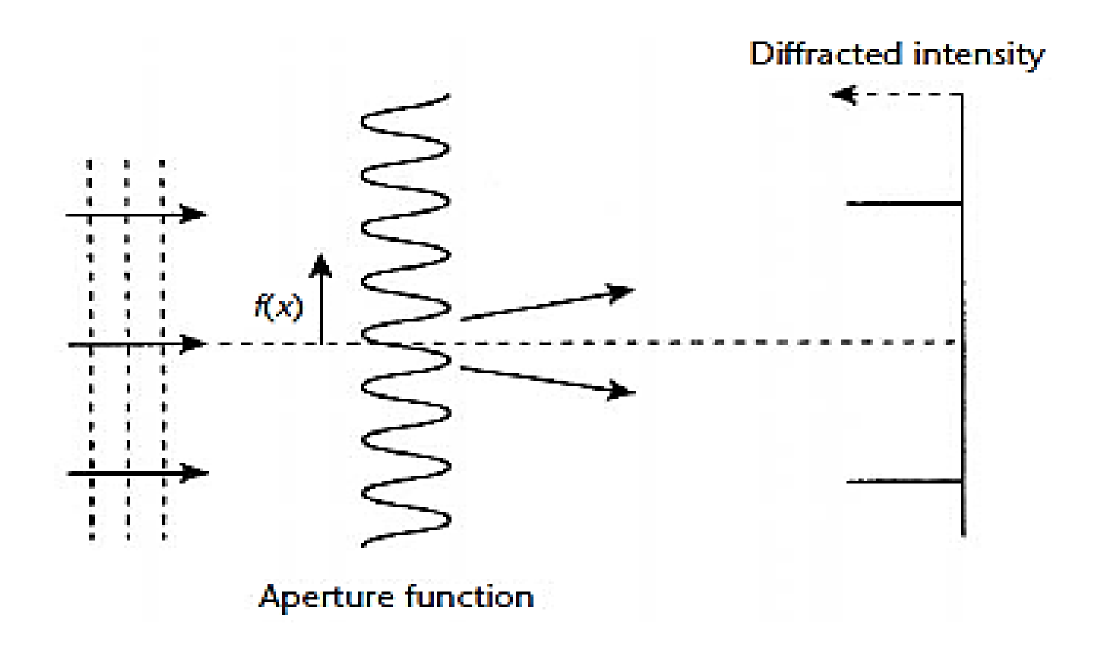


Figure 3.6 Sinusoidal diffracting aperture.

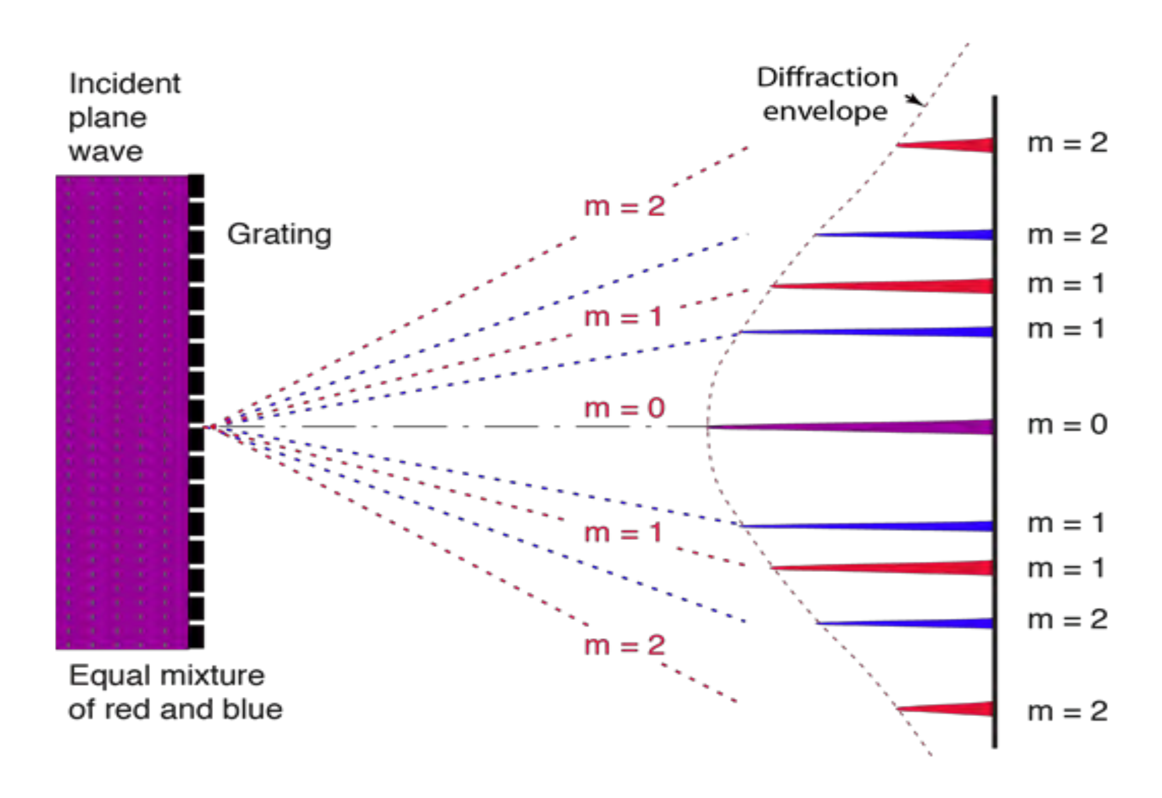


Figure 3.7 Diffraction grating.

individual lines would be infinitely narrow (delta functions), but, since it cannot do so in practice, their width is inversely proportional to the total width of the grating (i.e., the intensity distribution across one line is essentially the Fourier transform of the envelope function for the rectangular wave).
To fix these ideas, consider a grating of N slits, each of width d, and separated by distance s. The diffracted intensity pattern is now given by
فإن الخطوط الفردية ستكون ضيقة إلى حد ما (دوال دلتا)، ولكن بما أنها لا تستطيع أن تفعل ذلك عمليا، فإن عرضها يتناسب عكسيا مع العرض الكلي للشبكة (أي أن توزيع الشدة عبر خط واحد هو أساسا تحويل فورييه لدالة الغطاء لموجة متعامدة).
لإثبات هذه الأفكار، والنظر في حاجز الشقوق N ، كل من العرض d ، ومفصولة بمسافة s.
ويعطى الآن نمط شدة الانعكاس من قبل

$$I(\vartheta) = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \cdot \frac{\sin^2 N\gamma}{\sin^2 \gamma} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.50)$$

Where

$$\beta = \frac{1}{2}(kd) \sin \vartheta$$

$$\gamma = \frac{1}{2}(ks) \sin \vartheta$$

The pattern is shown in Figure 3.7. Clearly each wavelength present in the light incident on a diffraction grating will produce its own separate diffraction pattern. This fact is used to analyze the spectrum of incident light, and also to select and measure specific component wavelengths. Its ability to perform these tasks is most readily characterized by means of its resolving power, which is defined as
ويظهر النمط في الشكل 7.3. ومن الواضح أن كل طول موجي موجود من الضوء الساقط على حاجز حيود سينتج نمط حيود منفصل به. وتستخدم هذه الحقيقة لتحليل طيف الضوء الساقط، وأيضا لتحديد وقياس موجات مركب معين. وتتميز قدرتها على أداء هذه المهام بسهولة أكبر بوسائل حلها، التي تعرف بأنها

$$\rho = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

Where $\delta\lambda$ is the smallest resolvable wavelength difference. If we take λ to be that wavelength difference which causes the pattern from $\lambda + d\lambda$ to produce a maximum, of order p, which falls on the first minimum of λ at that same order, then we have

حيث δλ هو أصغر فرق طول موجي قابل للحل. إذا أخذنا λ يكون فرق بالطول الموجي الذي يسبب النمط من λ + dλ لإنتاج حد أقصى، من رتبة p، الذي يقع على الحد الأدنى الأول λ من نفس الترتيب، ثم لدينا

$$pN\lambda + \lambda = pN(\lambda + \delta\lambda) \qquad \text{..........} \quad (3.51)$$

and thus

$$\rho = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = pN$$

Gratings are ruled either on glass (transmission) or on mirrors (reflection) with ~ 10^5 ''lines'' (slits) in a ~ 150 mm. The first-order resolving power is thus ~ 10^5.

يتم التحكم في الحواجز إما على الزجاج (انتقال) أو على المرايا (انعكاس) مع ~ 10^5 "خطوط " (الشقوق) في ~ 150 ملم. وبالتالي فإن الدرجة الأولى لقدرة الفصل ~ 10^5.

3.5 Group Velocity 5.3 سرعة المجموعة

Consider the standard expression for the electric field component of an electromagnetic wave (of arbitrary polarization) propagating in the *Oz* direction in an optical medium of refractive index *n*:

النظر في التعبير القياسي لمكون المجال الكهربائي من الموجة الكهرومغناطيسية (للاستقطاب اللاارادي) التي تنتشر في اتجاه *Oz* في وسط بصري لمؤشر الانكسار n:

$$E = E_0 \exp[i(\omega t - kz)] \qquad \text{..........} \quad (3.52)$$

We know that

$$\frac{\omega}{k} = c = \frac{c_0}{n}$$

and hence may write

$$E = E_0 \exp\left[i\omega\left(t - \frac{nz}{c_0}\right)\right] \quad .... \quad (3.53)$$

We may conveniently include both the amplitude attenuation and the phase behavior of the wave in this expression by defining a complex refractive index

ويمكن أن نتضمن بشكل ملائم كل من التوهين الاتساع وسلوك الطور للموجة في هذا التعبير عن طريق تحديد معامل الانكسار المعقد

$$n = n' - in'' \quad .... \quad (3.54)$$

so that

$$E = E_0 \exp\left(\frac{-\omega n'' z}{c_0}\right) \exp\left[i\omega\left(t - \frac{n' z}{c_0}\right)\right] \quad .... \quad (3.55)$$

The first exponential clearly represents an attenuation factor (real exponent), while the second represents the propagating wave (imaginary exponent).

وتمثل الأسية الأولى بوضوح عامل توهين (الأس الحقيقي)، بينما تمثل الأسية الثانية موجة الانتشار (الأس الخيالي).

It has already been noted that refractive index is dependent upon the optical frequency. The physical reason for this is that electromagnetic (primary) waves propagate in a material medium by forcing the elementary atomic/molecular dipoles of the medium into oscillation.

وقد لوحظ بالفعل أن معامل الانكسار يعتمد على التردد البصري. والسبب المادي لذلك هو أن الموجات الكهرومغناطيسية (الأولية) تنتشر في وسط مادي عن طريق إجبار ثنائيات الاقطاب الذرية / الجزيئية الأولية للوسط على التذبذب.

These oscillations then radiate their own, secondary, radiation. The extent of this interaction depends upon the relationship

ثم تشع هذه الذبذبات الخاصة بها، الثانوية، والإشعاع. ويعتمد مدى هذا التفاعل على العلاقة بين تردد الموجات الأولية والنشطة والموجات والترددات الثابتة للذبذبات الذرية.

between the frequency of the primary, driving, wave and the (fixed) frequencies of the atomic resonances.

The atomic oscillators scatter some of the power in the primary wave away from the forward-propagating direction.

ويتذبذب المذبذب الذري المستطار في بعض قوة الموجة الأولية بعيدا عن اتجاه الانتشار الأمامي.

They also absorb some of it, this component being redistributed as a heating of the material.

كما أنها تمتص بعض من ذلك، يتم إعادة توزيع هذا المكون كتدفئة للمواد.

Both scattering and absorption processes thus lead to attenuation of the primary wave.

وهكذا تؤدي كل من عمليات الاستطارة والامتصاص إلى توهين الموجة الأولية.

Another component of the secondary radiation propagates in the forward direction, combining with the primary wave to produce a resultant forward propagating wave.

وينتشر عنصر آخر من الإشعاع الثانوي في الاتجاه الأمامي، ويجمع مع الموجة الأولية لإنتاج موجة انتشار الى الامام.

However, the phase of the secondary radiation differs from that of the primary wave (as, in general, is always the case for driven oscillators) so that the resultant's phase also differs. This phase change is equivalent to a velocity difference, and this defines the refractive index.

ومع ذلك، فإن المرحلة من الإشعاع الثانوي يختلف عن تلك الموجة الأولية (كما هو الحال عموما، هو الحال دائما للمذبذبات المشغلة) بحيث تختلف المرحلة الناتجة أيضا. ويعادل تغير الطور بفارق السرعة، ويحدد ذلك معامل الانكسار.

The strength of all of these effects is greatest when the frequency of the driving wave coincides with that of an atomic resonance.

قوة كل هذه التأثير هي أكبر عندما التردد يتزامن الموجه النشطة مع الرنين الذري. ومن ثم سيكون هذا أيضا النقطة التي يتغير فيها معامل الانكسار بسرعة أكبر مع التردد

Hence this also will be the point at which the refractive index is changing most rapidly with optical frequency.

البصري.

All real sources of light provide their radiation over a range of frequencies. This range is large for an incandescent radiator such as a light bulb, and very small for a gas laser; but it can never be zero.

جميع مصادر الضوء الحقيقية توفر الإشعاع على مدى مجموعة من الترددات. هذا النطاق كبير لمشع ساطع مثل لمبة ضوء، وصغيرة جدا مثل ليزر الغاز. ولكن لا يمكن أبدا أن تكون صفرا.

Consequently, in the cases of a medium whose refractive index varies with frequency, different portions of the source spectrum will travel at different velocities and thus will experience different refractive indices.

ونتيجة لذلك، في حالات الوسيط الذي يتغير مؤشر الانكسار(معامل الانكسار) الخاص به مع التردد، فإن أجزاء مختلفة من الطيف المصدر ستنتقل بسرعات مختلفة، وبالتالي ستتعرض لمؤشرات انكسار مختلفة.

This causes dispersion of the light energy, and the medium is thus said to be optically dispersive.

وهذا يسبب تشتت الطاقة الضوئية، وبالتالي يقال أن الوسط مشتتة بصريا.

The phenomenon has a number of manifestations and practical consequences. One of the best known manifestations is that of the rainbow, where the variation of the refractive index with wavelength in water causes raindrops in the atmosphere to refract the sun’s rays through different angles, according to the color of the light, and thus to provide for us a wonderful technicolor display.

وللظاهرة عدد من التعابير والاهمية العملية. واحدة من التعابير الأكثر شهرة هي أن قوس قزح، حيث أن اختلاف معامل الانكسار مع الطول الموجي في الماء يسبب قطرات المطر في الغلاف الجوي لكسر أشعة الشمس من خلال زوايا مختلفة، وفقا للون الضوء، وبالتالي لتوفير لنا عرض تكنلوجيا لوني رائع.

Another well-known example of dispersion is the experiment performed by Isaac Newton with a glass prism, allowing him to demonstrate quantitatively the different angles of refraction in glass for the spectral colors of which the sun’s light is composed.

مثال آخر معروف على التشتت هو التجربة التي يقوم بها إسحاق نيوتن مع المنشور الزجاجي، مما يسمح له أن يبرهن كميا ان زوايا الانكسار المختلفة في الزجاج للألوان الطيفية التي يتكون منها ضوء الشمس.

In the modern idiom of present-day optoelectronics we are rather more concerned with the effect that dispersion has on the information carried by a light beam, especially a guided one; so it is useful to quantify the dispersion effect with this in mind.

في المصطلحات الحديثة للالكترونيات الضوئية في الوقت الحاضر نحن أكثر قلقا مع تأثير التشتت على المعلومات التي يحملها شعاع الضوء، وخاصة الموجهة؛ لذلك فمن المفيد اخذ بالاعتبار تحديد تأثير التشتت.

In order to understand some of these consequences of dispersion, suppose that just two closely spaced frequency components, of equal amplitude, are present in the source spectrum; that is,

ومن أجل فهم بعض هذه العواقب الناجمة عن التشتت، افترض أن مكونين من الترددات متباعدة عن بعد، متساويان الاتساع، موجودان في طيف المصدر؛ هذا هو،

$$E = E_0 \cos(\omega t - kz) + E_0 \cos\left(\overline{\omega + \delta\omega}\, t - \overline{k + \delta k}\, z\right) \quad \dots\dots\dots\dots \quad (3.56)$$

Where δω, δκ are small compared with ω and k, respectively.
Using elementary trigonometry we have

حيث δω، δκ صغيرة مقارنة مع ω و κ، على التوالي.
باستخدام علم المثلثات الأولية لدينا

$$E = 2E_0 \cos\frac{1}{2}(\delta\omega t - \delta kz)\cos\left(\overline{\omega + \frac{1}{2}\delta\omega}\, t - \overline{k + \frac{1}{2}\delta k}\, z\right) \quad \dots\dots\dots \quad (3.57)$$

This represents a sinusoidal wave (second cosine factor) whose amplitude is modulated by another sinusoid (first cosine factor) of lower frequency (Figure 3.8). The wave itself travels at a velocity

ويمثل هذا الموجة الجيبية (عامل جيب التمام الثاني) الذي يتم تعديل اتساعه بواسطة جيب آخر (عامل جيب التمام الأول) من التردد المنخفض (الشكل 8.3). الموجة نفسها تسير بسرعة

$$\frac{\omega + \frac{1}{2}\delta\omega}{k + \frac{1}{2}\delta k} \approx \frac{\omega}{k} = c \qquad \text{..........} \qquad (3.58)$$

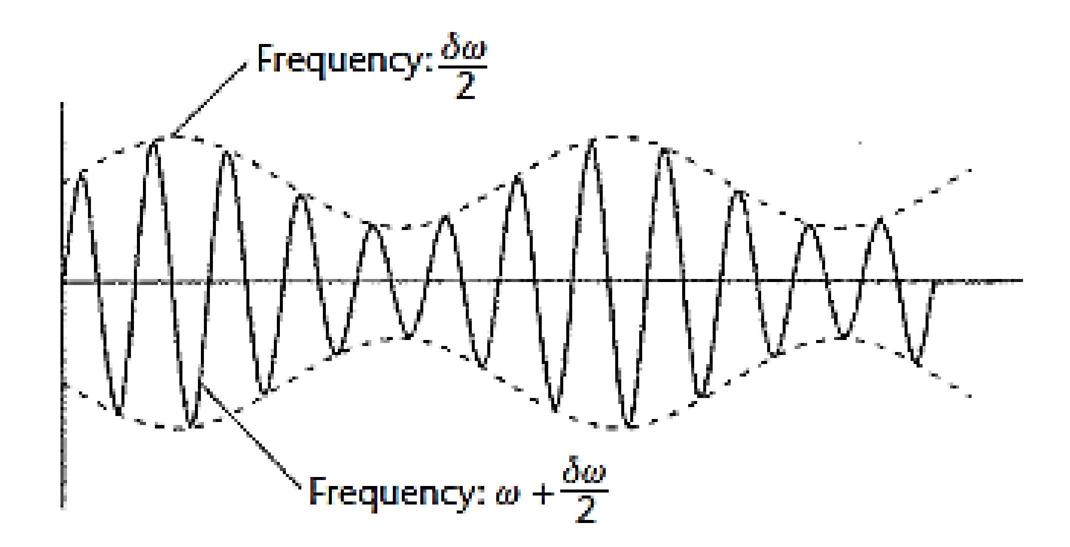


Figure 3.8 Amplitude-modulated wave: sum of two waves of different frequencies.

Which is the mean velocity of the two waves. However, the point of maximum amplitude of the wave will always occur when the amplitude modulation has maximum value; that is, when

وهو متوسط سرعة الموجتين. ومع ذلك، فإن نقطة السعة القصوى للموجة تحدث دائما عندما يكون تضمين السعة له أقصى قيمة؛ ذلك حين

$$\frac{1}{2}\delta\omega.t-\frac{1}{2}\delta k.z=0 \qquad \text{..........} \quad (3.59)$$

so that

$$\frac{\delta\omega}{\delta k}=\frac{z}{t}=c_g \qquad \text{..........} \quad (3.60)$$

and hence, in the limit as $\delta\omega$, $\delta\kappa \to 0$:

$$c_g=\frac{d\omega}{dk} \qquad \text{..........} \quad (3.61)$$

Where c_g is called the group velocity and is the velocity (in this case) with which any given wave maximum progresses. This generalizes to be true for a continuous spread of frequencies, over a small range, such as would be emitted by any practical light source.

حيث تسمى c_g سرعة المجموعة وهي السرعة (في هذه الحالة) التي تعطي الموجة أقصى تقدم. ويعمم هذا التعميم على الانتشار المستمر للترددات، على مدى صغير، كأن ينبعث منه أي مصدر ضوئي عملي.

Now we also know that

$$\frac{\omega}{k}=c=\frac{c_0}{n} \qquad \text{..........} \quad (3.62)$$

and hence $\omega = (c_0 /n)\kappa$ where n is the refractive index of the medium. In general, n will vary with optical frequency and thus will be a function of κ, so that we can differentiate this expression for ω to obtain

ومن ثم κ $\omega = (c_0 / n)$ حيث n هو معامل الانكسار للوسط.
بشكل عام، n سوف تختلف مع التردد البصري وبالتالي سوف تكون دالة الىκ ، حتى نتمكن من التمييز بين هذا التعبير ω للحصول عليها

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0}{n}\left(1 - \frac{k}{n}\frac{dn}{dk}\right) \qquad \text{..........} \quad (3.63)$$

or, in terms of the wavelength λ:

$$c_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0}{n}\left(1 + \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right) \qquad \text{..........} \quad (3.64)$$

If n does not vary with wavelength, then

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{dn}{dk} = 0$$

and then

$$\frac{d\omega}{dk} = c_g = \frac{c_0}{n} = c$$

However, if $dn/d\lambda \neq 0$ (i.e., the medium is dispersive) then $c_g \neq c$ and the maximum of the disturbance travels at a different velocity from the ‘‘carrier’’ optical wave.

ومع ذلك، إذا كان $dn/d\lambda \neq 0$ (أي أن الوسيط مشتت)، ثم $c_g \neq c$، فإن أقصى قدر من الاضطراب يسير بسرعة مختلفة من "الموجة الحاملة".

These ideas may readily be generalized to include the complete spectrum of a practical source.

ويمكن تعميم هذه الأفكار بسهولة لتشمل الطيف الكامل لمصدر عملي.

Provided that $dn/d\lambda$ is sensibly constant over the spectrum of wavelengths, it follows that a pulse of light from the source will effectively travel undistorted at a velocity of c_g rather than c.

شريطة أن يكون $dn/d\lambda$ ثابتا بشكل معقول على طيف طول الموجة، ويترتب على ذلك أن نبضة الضوء من المصدر سوف تسير بشكل فعال غير مشوهة عند سرعة c_g بدلا من c

3.6 Emission and Absorption of Light

6.3 انبعاث وامتصاص الضوء

In considering the processes by which light is emitted and absorbed by atoms, we must again quickly come to terms with the corpuscular or, to use the more modern term, the particulate nature of light.

عند النظر في العمليات التي ينبعث منها الضوء وتمتصة الذرات، يجب علينا أن نأتي سريعا مرة أخرى إلى المصطلحات الجسيمية، أو لاستخدام المصطلح الأكثر حداثة، طبيعة الجسيمات للضوء.

In classical (i.e., prequantum theory) physics, the atom was held to possess natural resonant frequencies.

في الفيزياء الكلاسيكية (أي ما قبل نظرية الكوانتم)، فيزياء، عقدت الذرة لامتلاك الترددات الرنينية الطبيعية.

These corresponded to the electromagnetic wave frequencies that the atom was able to emit when excited into oscillation. Conversely, when light radiation at any of these frequencies fell upon the atom, the atom was able to absorb energy from the radiation in the way of all classical resonant system driving-force interactions.

وتتوافق هذه مع ترددات الموجات الكهرمغناطيسية التي كانت الذرة قادرة على انبعاثها عندما تكون متهيجة في التذبذب. وعلى العكس من ذلك، عندما سقط شعاع الضوء في أي من هذه الترددات على الذرة، كانت الذرة قادرة على امتصاص الطاقة من الإشعاع في التجاه من كل نظام رنيني كلاسيكي و التفاعلات القوة النشطة.

However, these ideas are incapable of explaining why, in a gas discharge, some frequencies which are emitted by the gas are not also absorbed by it under quiescent conditions; neither can it explain why, in the photoelectric effect (where electrons are ejected from atoms by the interaction with light radiation), the energy with which the electrons are ejected depends not on the intensity of the light, but only on its frequency.

ومع ذلك، هذه الأفكار غير قادرة على شرح لماذا تصرف الغاز، بعض الترددات التي تنبعث من الغاز لا يمتصها أيضا تحت ظروف مستقرة؛ لا يمكن أن يفسر لماذا، في التأثير الكهروضوئية (يتم إخراج الإلكترونات من الذرات عن طريق التفاعل مع الإشعاع الضوئي)، ولكن فقط على ترددها.

We know that the explanation of those facts is that atoms and molecules can exist only at discrete energy levels.

ونحن نعلم أن تفسير تلك الحقائق هو أن الذرات والجزيئات يمكن أن توجد فقط في مستويات الطاقة المنفصلة.

These energy levels may be listed in order of ascending magnitude, E_0 , E_1 , E_2, ... , E_n . Under conditions of thermal equilibrium the number of atoms having energy Ei is related to that having energy E_j by the Boltzmann relation:

ويمكن إدراج مستويات الطاقة هذه بترتيب تصاعدي، E_0 ، E_1، E_2. . . ، إن. في ظل ظروف التوازن الحراري عدد الذرات التي لها طاقة Ei يرتبط بتلك التي لها طاقة E_j بواسطة علاقة بولتزمان:

$$\frac{n_i}{n_j} = \exp\left(-\frac{E_i - E_j}{kT}\right) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.65)$$

Where k is Boltzmann's constant and T is the absolute temperature. Light can only be absorbed by the atomic system when its frequency _ corresponds to at least one of the values ν_{ji} where

حيث k هو ثابت بولتزمان و T هو درجة الحرارة المطلقة. يمكن استيعاب الضوء فقط من قبل النظام الذري عندما تردده ليتوافق مع واحد على الأقل من القيم ν_{ji} حيث

$$\nu_{ji} = E_j - E_i \qquad (j > i)$$

(The symbol ν is used now for the frequency rather than $\omega / 2\pi$, to emphasize that the light is exhibiting its particulate character.) Here, h is Planck's quantum constant, with value 6.626×10^{-34} joule. Seconds.

(يستخدم الرمز ν للتردد بدلا من $\omega / 2\pi$، للتأكيد على أن الضوء يظهر طبيعته الجسيمي) هنا، h هو ثابت الكمي لبلانك، مع قيمة تساوي 6.626×10^{-34} جول. ثواني.

In this case the interpretation is that one quantum of light, or photon, with energy $h\nu_{ji}$, has been absorbed by the atom, which in consequence has increased in energy from one of its allowed

في هذه الحالة التفسير هو أن كمية واحدة من الضوء، أو الفوتون، مع الطاقة $h\nu_{ji}$ ، تم امتصاصها من قبل الذرة، و نتيجة لذلك قد زادت قيمة الطاقة واحدة من القيم المسموح بها E_i ، إلى آخر، E_j .

values E_i , to another, E_j .

Correspondingly, a photon will be emitted when a downward transition occurs from E_j to E_i , this photon having the same frequency ν_{ji} .

في المقابل، سيتم انبعاث الفوتون عندما يحدث انتقال الى الاسفل من E_j إلى E_i ، ووجود هذا الفوتون يكون له نفس التردد ν_{ji}.

In this context we must think of the light radiation as a stream of photons. If there is a flux of p photons across unit area per unit time then we may write

في هذا السياق يجب أن نفكر في الإشعاع الضوء كتدفق من الفوتونات.

إذا كان هناك تدفق من الفوتونات p عبر وحدة المساحة لكل وحدة من الزمن نكتب

$$I = ph\nu \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.66)$$

Where I is the light intensity defined in. Similarly, any other quantity defined within the wave context also has its counterpart in the particulate context.

حيث I هو شدة الضوء المحددة. وبالمثل، فإن أي كمية أخرى محددة في سياق الموجة لها نظيرها أيضا في سياق الجسيمات.

In attempting to reconcile the two views, the electromagnetic wave should be regarded as a probability function whose intensity at any point in space defines the probability of finding a photon there.

أي محاولة للتوفيق بين وجهات النظر، ينبغي النظر إلى الموجة الكهرومغناطيسية على أنها دالة الاحتمال التي تحدد الشدة في أي نقطة في الفضاء لاحتمال العثور على الفوتون هناك.

But only in the specialized study of quantum optics are such concepts of real practical significance. For almost all other purposes (including the present one) either the wave representation or the particle representation is appropriate in any given practical situation, without any mutual contradiction.

ولكن فقط في دراسة متخصصة في بصريات الكم هي مفاهيم ذات أهمية عملية حقيقية. بالنسبة لجميع الأغراض الأخرى تقريبا (بما في ذلك الحالية) إما تمثيل الموجة أو تمثيل الجسيمات مناسب في أي حالة عملية معينة، دون أي تناقض متبادل.

Chapter 4

Types of Rays

4.1 Types of Rays 1.4 أنواع الأشعة

• If the rays are launched within core of acceptance can be successfully propagated along the fiber. But the exact path of the ray is determined by the position and angle of ray at which it strikes the core.

• إذا تم إطلاق أشعة داخل الجوهر الاساس (اللب) بواسطة قمع القبول فمن الممكن انتشاره بنجاح على طول الألياف. ولكن المسار الدقيق للشعاع يتم تحديده من قبل موقع وزاوية الشعاع الساقط على اللب.

There exist three different types of rays:	هناك ثلاثة أنواع مختلفة من الأشعة:
1. Skew rays.	1. أشعة الانحراف.
2. Meridional rays.	2. أشعة الزوالية.
3. Axial rays.	3. الأشعة المحورية.

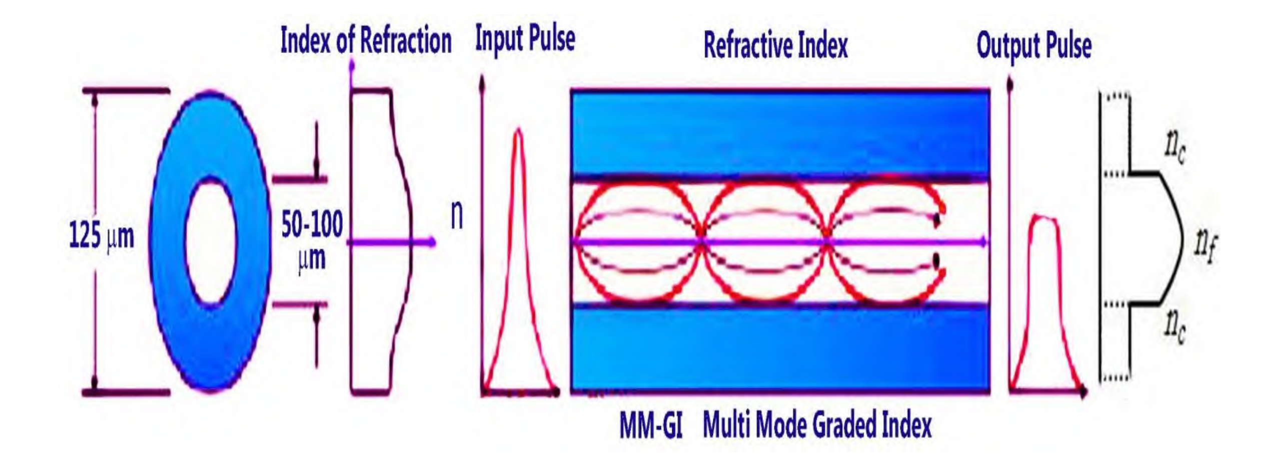


Figure 4.1: Skew ray do not cross the fiber axis but zig – zig around the axis

1. **The skew rays** does not pass through the center, as show in Fig. 4.1.
The skew ray reflects off from the core cladding boundaries and again bounces around the outside of the core.
It takes somewhat similar shape of spiral of helical path.
or
Skew rays are the rays following the helical path around the fiber axis when they travel through the fiber and they would not cross the fiber axis at any time.

1. **أشعة الانحراف** لا تمر عبر المركز، كما هو مبين في الشكل 1.4.
تنعكس أشعة الانحراف بعيدا عن الحدود بين الكسوة واللب ومرة أخرى تبتعد عن اللب.
وبهذا فأنها سوف تأخذ شكل مماثل إلى حد ما من مسار دوامه حلزونية.
أو
أشعة الانحراف هي أشعة تتبع المسار الحلزوني حول محور الألياف عندما تسير عبر الألياف، وأنها لن تقطع محور الألياف في أي وقت.

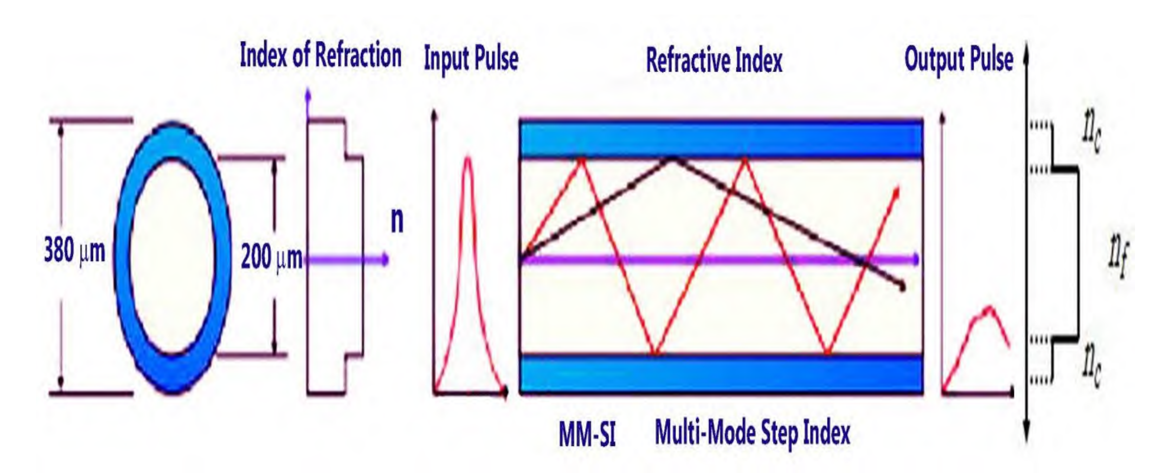


Figure 4.2: Meridional rays always cross the fiber axis

2.**The meridional ray** enters the core and passes through its axis. When the core surface is parallel, it will always be reflected to pass through the enter. The meridional ray is shown in **4.2**.

2.**الاشعة الزوالية هي** الاشعة التي تدخل اللب وتمر من خلال محوره. عندما يكون سطح اللب موازياً، وسوف تنعكس الاشعة دائما من السطح الفاصل بين اللب والكسوة لتسير عبر الليف من نقطة الدخول الى نقطة خروج الشعاع. يمثل الشكل 2.4 شعاع الزوال.

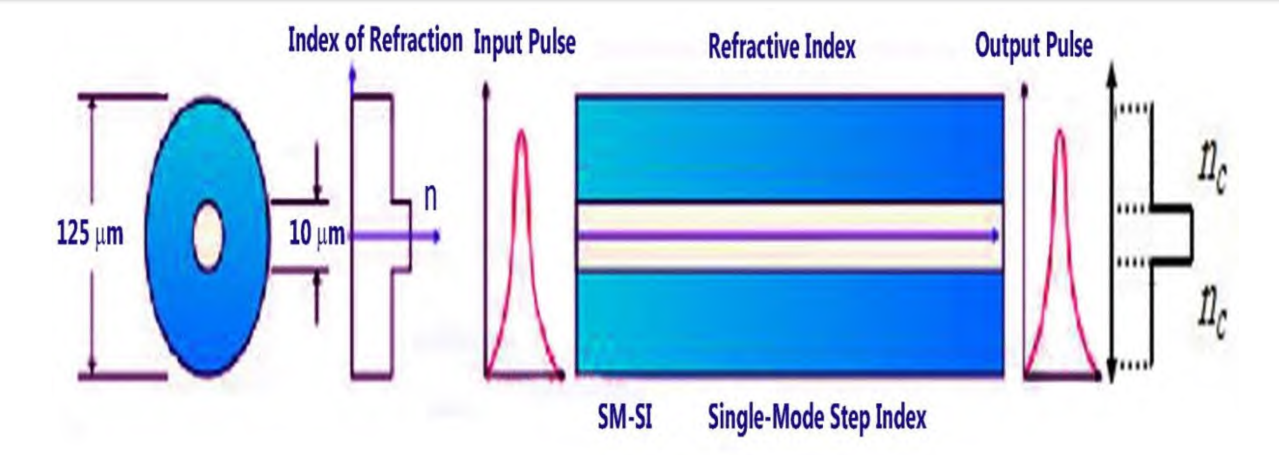


Figure 4.3: Axial rays

3. The axial ray travels along the axis of the fiber and stays at the axis all the time. It is shown in fig. 4.3.

3. الشعاع المحوري يسير على طول محور الألياف ويبقى في المحور كل وقت المسير. وكما مبين، في الشكل 3.4.

4.2 Mode Of Propagation

2.4 نمط الانتشار

Two main categories of optical fiber used in fiber optic communications are multi-mode optical fiber and single-mode optical fiber.

فئتين رئيسيتين من الألياف البصرية المستخدمة في الاتصالات الألياف البصرية هي الألياف البصرية متعددة النمط والألياف البصرية أحادية النمط.

- Fiber cables call is classified as per their mode. Light rays propagate as an electromagnetic wave along the fiber.

- يتم تصنيف كابلات الالياف الضوئية حسب الطريقة او النمط لانتشار الاشعة. حيث تنتشر الأشعة الضوئية كموجة كهرومغناطيسية على طول الألياف.

The two components, the electric field and the magnetic field form patterns across the fiber. These patterns are called modes of transmission.

المكونان للاشعة عبر الألياف، هو شكل نمط المجال الكهربائي وشكل نمط المجال المغناطيسي. وتسمى هذه الأنماط بنمط الانتقال.

The mode of a fiber refers to the number of paths for the light rays within the cable.

ويشير نمط الألياف إلى عدد مسارات الأشعة الضوئية داخل الكيبل.

According to modes optic fibers can be classified into two types.

ووفقاً لأنماط الألياف البصرية يمكن تصنيفها إلى نوعين.وكما ذكرت في الفصل الاول

1. Single mode fiber.
2. Multimode fiber.

1. الألياف ذات النمط المفرد.
2. الألياف متعددة الانماط.

4.2.1 Single-Mode Fibers

Single-mode fibers – used to transmit one signal per fiber (used in telephone and cable TV). They have small cores (9 microns in diameter) and transmit infra-red light from laser.

Single-mode fiber's smaller core (<10 micrometres) necessitates more expensive components and interconnection methods, but allows much longer, higher-performance links.

Single mode fiber allows propagation to light ray by only one path. Single mode fibers are best at retaining the fidelity of each light pulse over longer distance also they do not exhibit dispersion caused by multiple modes.

Thus more information can be transmitted per unit of time.

This gives single mode fiber higher bandwidth compared to multimode fiber.

• Some disadvantages of single mode fiber are smaller core diameter makes coupling light into the core more difficult. Precision required for single mode connectors and splices are more demanding.

1.2.4 الألياف احادية النمط

ألياف أحادية النمط - تستخدم لنقل إشارة واحدة من الألياف (المستخدمة في الهاتف وكابل تلفزيون). يكون لديهم اللب صغيرة (9 ميكرون في القطر) و ضوء من الليزر لنقل الأشعة تحت الحمراء.

تتطلب الألياف الأصغر أحادية النمط (أقل من 10 ميكروميتر) مكونات وأساليب التوصيل البيني أكثر تكلفة، ولكنها تسمح بصلات أطول وأعلى أداء.

الألياف ذات النمط الواحد تسمح بانتشار الأشعة الضوئية بواسطة مسار واحد فقط. الألياف ذات النمط (الوضع) الواحد هي أفضل في الحفاظ على دقة كل نبضه من الضوء على مسافة أطول وكذلك لا تتعرض الاشعة الضوئية المنتقله خلالها الى التشتت بالمقارنة عما ينجم من تشتت مع وسائط متعددة الانماط.

وهكذا يمكن نقل مزيد من المعلومات لكل وحدة من الزمن.

وهذا يعطي الألياف ذات النمط الواحد أعلى عرض نطاق ترددي مقارنة بالألياف متعددة الانماط.

• بعض عيوب الألياف ذات النمط الواحد هي صغر قطر اللب مما يجعل من الصعوبة اقتران الضوء في لب الليف. الدقة المطلوبة للوصلات في النمط الواحد والصلات هي أكثر دقة من قريناتها (هي وصلات بين قطع الالياف الخاصة بالربط بينهما).

4.2.2 Multi-Mode Fibers

2.2.4 الألياف متعددة النمط

Multi-mode fibers – used to transmit many signals per fiber (used in computer networks). They have larger cores(62.5 microns in diameter) and transmit infra-red light from LED.

ألياف متعددة ألانماط - تستخدم لنقل إشارات عديدة لكل ليف (مستخدمة في شبكات الحاسوب) لديهم قطر اللب اكبر(62.5 ميكرون) ضوء من ليد لنقل الأشعة تحت الحمراء.

Multimode fiber has a larger core (≥ 50 micrometres), allowing less precise, cheaper transmitters and receivers to connect to it as well as cheaper connectors

الألياف المتعددة الانماط لديها لب ذات قطر أكبر (≤ 50 ميكرومتر)، مما يكون أقل دقة، وأجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال أرخص للاتصال بها وكذلك موصلات أرخص

However, multi-mode fiber introduces multimode distortion which often limits the bandwidth and length of the link. Furthermore, because of its higher dopant content, multimode fiber is usually more expensive and exhibits higher attenuation.

ومع ذلك، الألياف متعددة النمط يدخل تشويه المتعدد الذي غالبا ما يحد من عرض النطاق الترددي وطول الارتباط. وعلاوة على ذلك، وبسبب المحتوى العالي على الشوائب، فإن الألياف المتعددة عادة ما تكون أكثر تكلفة واظهار توهين أعلى.

4.3 Fiber Index Profiles

3.4 شكل مُعامل الألياف

- A fiber is characterized by its profile and by its core and cladding diameters.
- One way of classifying the fiber cables is according to the index profile at fiber.

• تتميز الألياف من خلال المعلومات عن قطر اللب وقطر الكسوة.

• طريقة واحدة لتصنيف كابلات الألياف وفقا لملف المعامل في الألياف.

The index profile of an optical fiber is a graphical representation of the magnitude of the refractive index across the fiber.

شكل معامل الألياف البصرية هو تمثيل بياني لحجم معامل الانكسار عبر الألياف.

The refractive index is plotted on the horizontal axis, and the radial distance from the core axis is

يتم رسم معامل الانكسار على المحور الأفقي، ويتم رسم المسافة الشعاعية من المحور الأساسي (اللب) على المحور

plotted on the vertical axis.

The boundary between the core and cladding may either be abrupt, in step-index fiber, or gradual, in graded-index fiber

العمودي.

قد تكون الحدود بين اللب والكسوة إما حاد، في الألياف معامل خطوة، أو تدريجية، في الألياف معامل متدرج

There are two basic types of index profiles. **1) Step index fiber.**	**هناك نوعان أساسيان من ملفات المؤشر(الدليل).** **1) الياف معامل الخطوة.**
2) Graded index fiber.	**2) ألياف معامل المتدرج.**

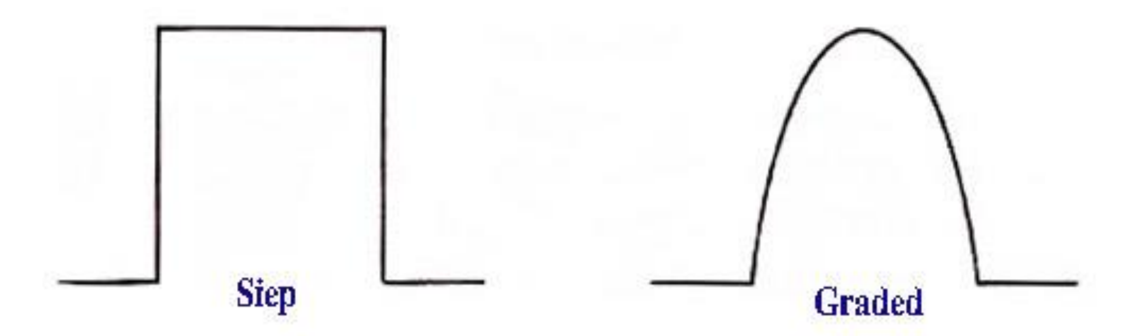


Figure 4.4: shows the index profiles of fibers.

4.3.1 Step Index (SI) Fiber

1.3.4 الياف معامل الخطوة (SI)

- The step index (SI) fiber is a cylindrical waveguide core with central or inner core has a uniform refractive index of n_1 and the core is surrounded by outer cladding with uniform refractive index of n_2.

The cladding refractive index (n_2) is less than the core refractive index (n_1). But there is an abrupt change in the refractive index at the core cladding interface.

- الياف معامل الخطوة (**SI**) هو أسطواني الشكل ذات الدليل الموجي مع النواة المركزية أو الداخلية لديها معامل الانكسار موحدة من n_1 ويحيط اللب الكسوة الخارجية مع معامل انكسار موحدة من n_2.

معامل انكسار الكسوة (n_2) هو أقل من معامل الانكسار اللب (n_1). ولكن هناك تغيير مفاجئ في معامل الانكسار في واجهة بين الكسوة واللب.

Refractive index profile of step indexed optical fiber is shown in

ويوضح الشكل 5.4 المظهر الجانبي لمعامل انكسار اللألياف الخطوة. حيث يتم رسم

Fig. 4.5. The refractive index is plotted on horizontal axis and radial distance from the core is plotted on vertical axis

معامل الانكسار على المحور الأفقي والمسافة الشعاعية ويتم رسم الأساسية على المحور العمودي.

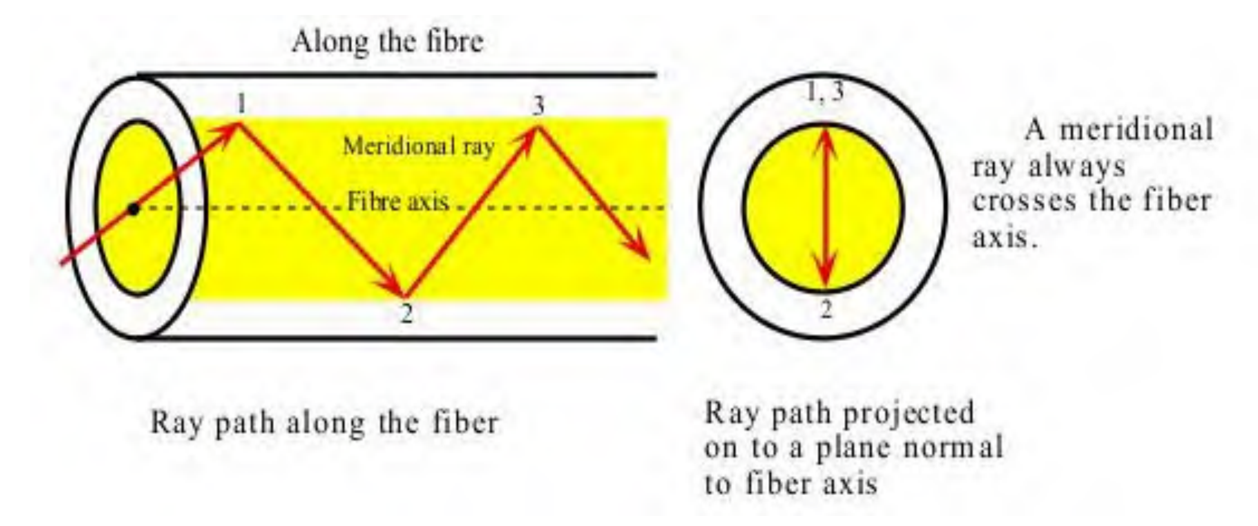


Figure 4.5: Step index fiber

- The propagation of light wave within the core of step index fiber takes the path of meridional ray i.e. ray follows a zig-zag path of straight line segments.

The core typically has diameter of 50-80 µm and the cladding has a diameter of 125 µm.

- The refractive index profile is defined as:

• انتشار الموجة الضوئية داخل لب الألياف حيث معامل الخطوة يأخذ مسار شعاع الزوال، أي الشعاع يتبع مسار التعرج من قطاعات خط مستقيم.

وعادة ما يكون قطر اللب 50-80 ميكرون والكسوة يبلغ قطرها 125 ميكرون.

• ويمكن تعريف معامل الانكسار بأنه:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{when } r < a \text{ (core)} \\ n_2 & \text{when } r \geq a \text{ (cladding)} \end{cases}$$

4.3.2 Graded Index (GRIN) Fiber

2.3.4 الألياف معامل المتدرج (GRIN)

• The graded index fiber has a core made from many layers of glass.

• الألياف معامل المتدرج لديه لب مصنوعة من العديد من طبقات الزجاج.

• In the graded index (GRIN) fiber the refractive index is not uniform within the core, it is highest at the center and the index of refraction in the core decreases continuously between the axis and the cladding. This causes light rays to bend smoothly as they approach the cladding, rather than reflecting abruptly from the core-cladding boundary.

• في الألياف معامل المتدرج (GRIN) ليست لها معامل الانكسار موحدة داخل الاساس (اللب)، وهو أعلى في المركز وينخفض مؤشر الانكسار في اللب باستمرار بين المحور والكسوة.

هذا يسبب انحناء أشعة الضوء بسلاسة لأنها تقترب من الكسوة، بدلا من انعكاسها فجأة من الحدود الأساسية للكسوة.

The refractive index profile across the core takes the parabolic nature. Fig.4.6 shows refractive index profile of graded index fiber.

ولتقريب ذلك اكثر ان معامل الانكسار عبر اللب يأخذ طبيعة قطع مكافئ. الشكل 6.4 يبين خصائص معامل الانكسار في الألياف معامل المتدرج.

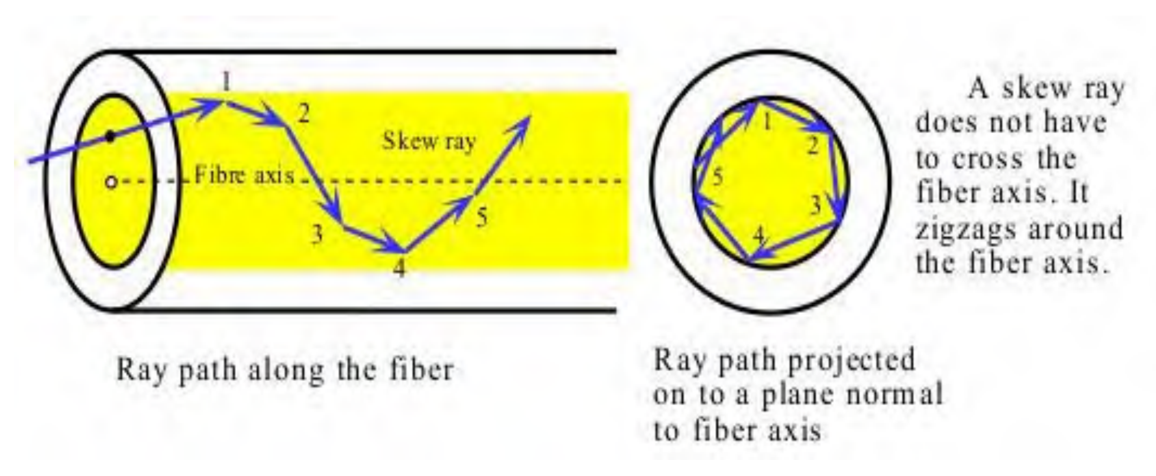


Figure 4.6: Graded Index Fiber

• In graded index fiber the light waves are bent by refraction towards the core axis and they

• في الألياف معامل المتدرج يتم انحناء موجات الضوء بسبب الانكسار نحو المحور الأساسي وأنها تتبع المسار المنحني أسفل

follow the curved path down the fiber length. This results because of change in refractive index as moved away from the center of the core.

طول الألياف. هذه النتائج تكون بسبب التغير في معامل الانكسار كلما ابتعد عن مركز النواة.

• A graded index fiber has lower coupling efficiency and higher bandwidth than the step index fiber. It is available in 50/125 and 62.5/125 sizes. The 50/125 fiber has been optimized for long haul applications and has a smaller NA and higher bandwidth. 62.5/125 fiber is optimized for LAN applications which is costing 25% more than the 50/125 fiber cable.

• الألياف معامل متدرج لديه كفاءة اقتران أقل وعرض النطاق الترددي العالي مقارنة بالألياف ذات معامل الخطوة. وهو متوفر في أحجام 125/50 و 62.5 / 125. وقد تم تحسين الألياف 125/50 لتكون هي الأمثل للتطبيقات للمسافات الطويلة ولها أصغر فتحة عددية وارتفاع عرض النطاق الترددي. الألياف 62.5 / 125 هو الأمثل للتطبيقات في شبكات الانترنيت المحلية لان تكلفتها أكثر بـ 25٪ من كابل الألياف 125/50.

• The refractive index variation in the core is giver by relationship

• التغير في معامل الانكسار في لب الاساس يعطى في العلاقة التالية:

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left(1 - 2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}\right) & \text{when } r < a \ (core) \\ n_1(1-2\Delta)^{\frac{1}{2}} \approx n_2 & when\ r \geq a \ \text{(cladding)} \end{cases}$$

Where,

r: Radial distance from fiber axis	r: المسافة الشعاعية من محور الألياف.
A: Core radius	a: نصف قطر اللب.
n_1: Refractive index of core	n_1: معامل انكسار اللب.
n_2: Refractive index of cladding	n_2: معامل انكسار الكسوة.
α: Shape of index profile.	α : شكل ملف المعامل.

• Profile parameter α determines the characteristic refractive index profile of fiber core. The range of refractive index as variation of α is shown in Fig. 4.7.

• يحدد α لمحة قياس عن خصائص معامل الانكسار الى لب الليف. ويبين الشكل 7.4 مدى تغيير معامل الانكسار α.

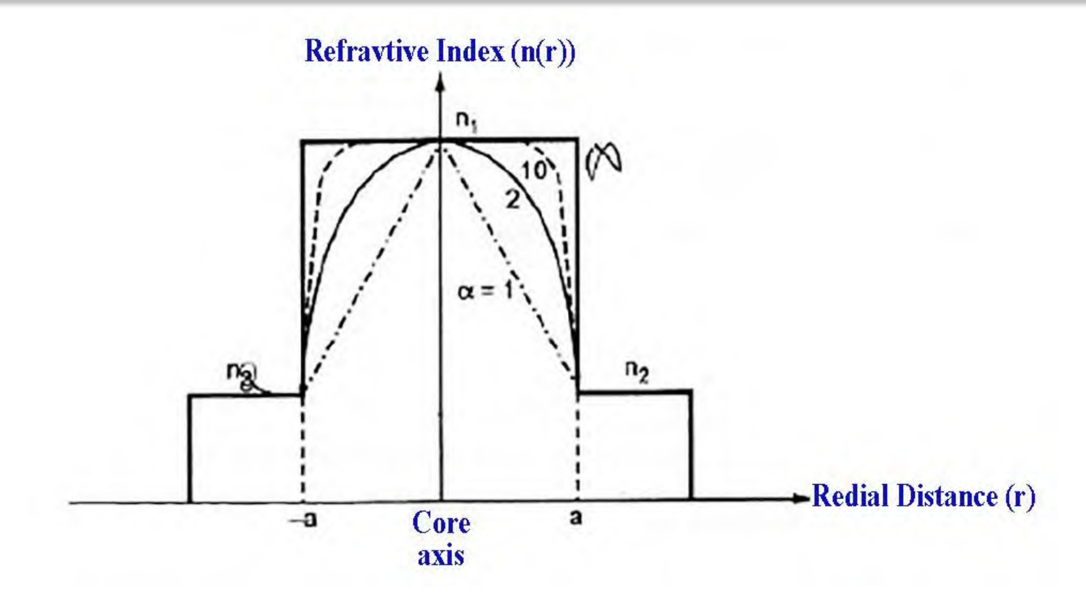


Figure 4.7: Possible Fiber Refractive Index Profiles for Different Values of

Table 4.1 Comparison of Step Index and Graded Index Fiber

Sr. No.	Parameter	Step index fiber	Graded index fiber
1.	Data rate	Slow.	Higher
2.	Coupling efficiency	Coupling efficiency with fiber is higher.	Lower coupling efficiency.
3.	Ray path	By total internal reflection.	Light ray travels in oscillatory fashion.
4.	Index variation	$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$	$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$
5.	Numerical aperture	NA remains same.	Changes continuously with distance from fiber axis.
6.	Material used	Normally plastic or glass is preferred.	Only glass is preferred.
7.	Bandwidth efficiency	10 – 20 MHz/km	1 GHz/km
8.	Pulse spreading	Pulse spreading by fiber length is more.	Pulse spreading is less
9.	Attenuation of light	Less typically 0.34 dB/km at 1.3 µm.	More 0.6 to 1 dB/km at 1.3 µm.
10.	Typical light source	LED.	LED, Lasers.
11.	Applications	Subscriber local network communication.	Local and wide area networks.

4.4 Optic Fiber Configurations | 4.4 تكوينات الألياف البصرية

• Depending on the refractive index profile of fiber and modes of fiber there exist three types of optical fiber configurations. These optic-fiber configurations are –

• اعتمادا على ملف معامل الانكسار في الألياف هناك ثلاثة أنواع من انماط الالياف، سوف تتغير تكوينات الألياف البصرية. هذه التكوينات للألياف البصرية هي:

1) Single mode step index Optics fiber.	**1) الألياف البصرية ذات النمط الواحد لمعامل الخطوة.**
2) Multimode step index Optics fiber.	**2) الألياف البصرية ذات الانماط المتعدد لمعامل الخطوة.**
3) Multimode graded index Optics fiber.	**3) الألياف البصرية ذات الانماط المتعدد لمعامل المتدرج.**

4.4.1 Single mode Step index Optics Fiber | 1.4.4 الألياف البصرية ذات النمط الواحد لمعامل الخطوة.

• In **single mode step index fiber** has a central core that is sufficiently small so that there is essentially only one path for light ray through the cable. The light ray is propagated in the fiber through reflection. Typical core sizes are 2 to 15 µm. Single mode fiber is also known as fundamental or monomode fiber.

• في **الألياف البصرية ذات النمط الواحد لمعامل خطوة** لديها اللب المركزي يكون صغيرة بما فيه الكفاية بحيث لا يوجد سوى مسار واحد فقط لأشعة الضوء من خلال الكابل. يتم نشر شعاع الضوء في الألياف من خلال الانعكاس. حيث تكون الأحجام الأساسية النموذجية هي 2 إلى 15 ميكرون. ومن المعروف أيضا ان الألياف ذات النمط الواحد ايضا تسمى بالألياف الأساسية أو الالياف ذات النمط الاحادي.

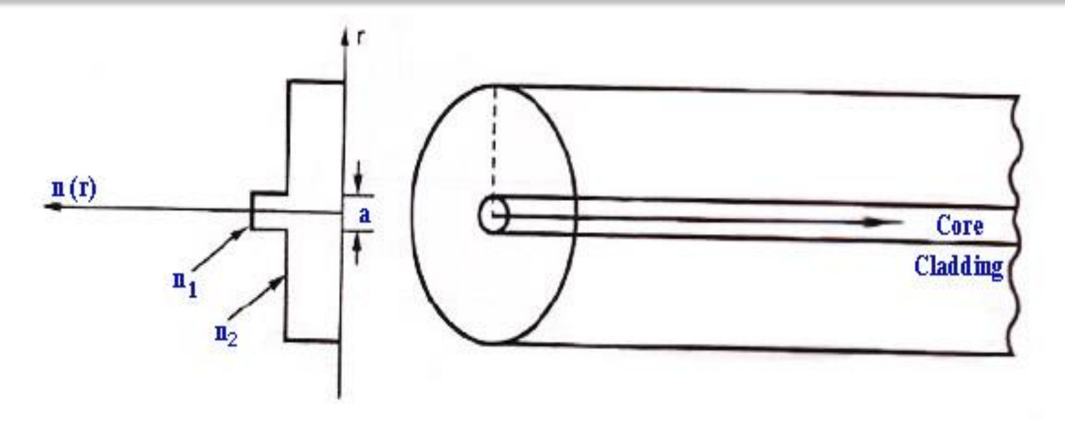


Figure 4.8: The Refractive Index Profile and Ray Transmission in Single Mode Step Index Fiber

- Single mode fiber will permit only one mode to propagate and does not suffer from mode delay differences.

• سوف تسمح الألياف ذات النمط الاحادي لنشر نمط واحد فقط ولا يعاني النمط من اختلافات التأخير.

These are primarily developed for the 1300 nm window but they can be also be used effectively with time division multiplex (TDM) and wavelength division multiplex (WDM) systems operating in 1550 nm wavelength region.

وقد وضعت أساسا للنطاق 1300 نانومتر ولكنها يمكن أن تستخدم بفعالية مع تعدد الإرسال بتقسيم الزمن (TDM) وأنظمة تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي (WDM) العاملة في منطقة الطول الموجي 1550 نانومتر.

- The core fiber of a single mode fiber is very narrow compared to the wavelength of light being used.

• لب الليف (اساس الليف) في ألياف ذات النمط الواحد هو ضيق جدا بالمقارنة مع الطول الموجي للضوء المستخدمة.

Therefore, only a single path exists through the cable core through which light can travel.

لذلك، هناك مسار واحد فقط من خلال لب الكابل التي يمكن من خلالها سير الضوء.

Usually, 20 percent of the light in a single mode cable actually travels down the cladding and the effective diameter of the cable is a

عادة، 20 في المئة من الضوء في كابل ذات النمط الواحد في الواقع مسيرته أسفل الكسوة وقطر فعال من كابل هو مزيج من لب نمط

blend of single mode core and degree to which the cladding carries light. This is referred to as the ‘mode field diameter’, which is larger than physical diameter of the core depending on the refractive indices of the core and cladding.

واحد ودرجة الضوء المحمول بالكسوة. ويشار إلى ذلك باسم "قطر مجال النمط"، وهو أكبر من القطر الفيزيائي للب اعتمادا على معاملات الانكسار فيما يتعلق باللب والكسوة.

• The disadvantage of this type of cable is that because of extremely small size interconnection of cables and interfacing with source is difficult.

• العيب من هذا النوع من الكابلات هو أنه بسبب حجم التوصيل البيني الصغير جدا للكابلات والتواصل مع المصدر أمر صعب.

Another disadvantage of single mode fibers is that as the refractive index of glass decreases with optical wavelength, the light velocity will also be wavelength dependent.

وعيب آخر من الألياف ذات النمط المفرد هو مع انخفاض معامل الانكسار في الزجاج مع الطول الموجي البصري، وسرعة الضوء سيكون أيضا يعتمد على الطول الموجي.

Thus the light from an optical transmitter will have definite spectral width.

وبالتالي فإن الضوء الناتج من الارسال البصري سيكون له عرض طيفي واضح.

4.4.2 Multimode Step Index Fiber

2.4.4 الألياف ذات الانماط المتعدد لمعامل الخطوة.

• **Multimode step index Optics fiber** is more widely used type. It is easy to manufacture. Its core diameter is 50 to 1000 μm i.e. large aperture and allows more light to enter the cable.

• **الألياف البصرية ذات الانماط المتعدد لمعامل خطوة** هذا النوع هو الأكثر استخداما. فمن السهل تصنيعها. قطرها الأساسي تقريبا من 50 إلى 1000 ميكرون أي فتحة كبيرة ويسمح للمزيد من الضوء لدخول الكابل.

The light rays are propagated

يتم نشر أشعة الضوء أسفل اللب بطريقة

down the core in zig-zag manner. There are many many paths that a light ray may follow during the propagation.

متعرجة. هناك العديد من المسارات التي قد تتبع شعاع الضوء أثناء الانتشار.

• The light ray is propagated using the principle of total internal reflection (TIR).
Since the core index of refraction is higher than the cladding index of refraction, the light enters at less than critical angle is guided along the fiber.

• يتم انتشار شعاع الضوء داخل الليف باستخدام مبدأ الانعكاس الداخلي الكلي (TIR).
وبما أن معامل انكسار اللب أعلى من معامل انكسار الكسوة ، فإن الضوء يدخل في أقل زاوية حرجة موجه على طول الألياف.

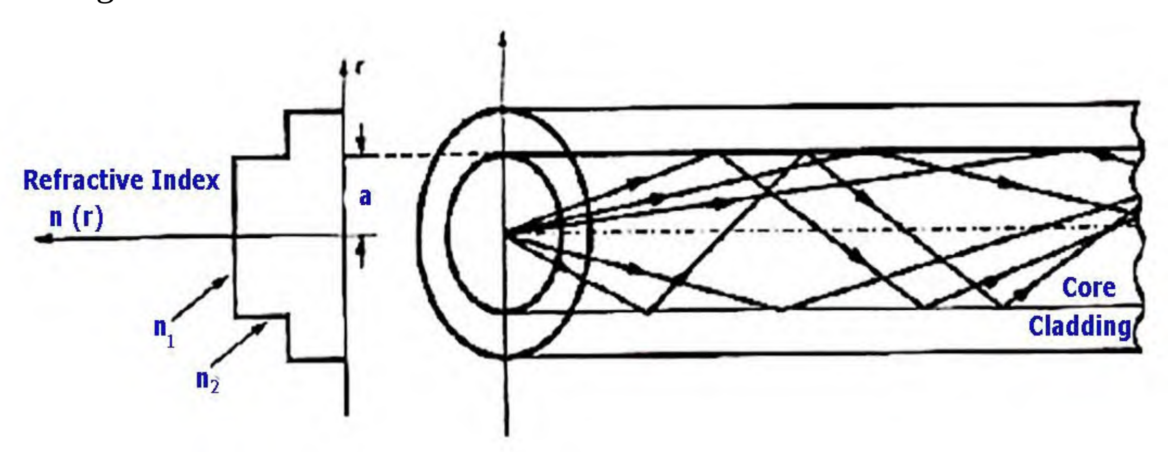


Figure 4.9: TIR in Multimode Step Index Fiber

• Light rays passing through the fiber are continuously reflected off the glass cladding towards the center of the core at different angles and lengths, limiting overall bandwidth.

• الاشعة الساطعة التي تمر عبر أاللياف من الكسوة الزجاجية باتجاه مركز الاساس تنعكس بشكل مستمر في زوايا وأطوال مختلفة، مما يحد من عرض النطاق الترددي الكلي.

• The disadvantage of multimode step index fibers is that the different optical lengths caused by various angles at which light is propagated relative to the core

• إن عيب ألياف معامل الخطوة المتعددة الانماط، أطواله البصرية مختلفة والناجمة عن زوايا مختلفة والتي يتم نشر الضوء بالنسبة إلى اللب، ويجعل عرض النطاق

causes the transmission bandwidth to be fairly small.

الترددي صغيرة إلى حد ما.

Because of these limitations, multimode step index fiber is typically only used in applications requiring distances of less than 1 km.

وبسبب هذه القيود، عادة ما تستخدم الألياف معامل الخطوة المتعدد فقط في التطبيقات التي تتطلب مسافات أقل من 1 كم.

4.4.3 Multimode Graded Index Optics Fiber

3.4.4 الألياف البصرية ذات الانماط المتعدد لمعامل المتدرج.

Graded-index fibers: a gradual decrease of the refractive index towards the cladding. Often by a parabola law.

الأياف معامل متدرج: انخفاض تدريجي لمعامل الانكسار نحو الكسوة. ويمكن ايضاح هذا عن طريق قانون القطع المكافئ.

Advantage: serpentine modes travel similar time to the central mode, since it is slower (larger n).

ميزة: النمط الملتوي او المتعرج تصل فيه الانماط بنفس الوقت المماثل وحتى النمط المركزي لأن سرعتة تكون أبطأ (لان معامل انكسارالمركز أكبر).

- The core size of **multimode graded index fiber** cable is varying from 50 to 100 μm range.

• يتراوح الحجم اللب لكابل الألياف المتدرج المتعدد الانماط من 50 إلى 100 ميكرون.

The light ray is propagated through the refraction. The light ray enters the fiber at many different angles.

يتم نشر شعاع الضوء من خلال الانكسار. شعاع الضوء يدخل الألياف في العديد من الزوايا المختلفة.

As the light propagates across the core toward the center it is intersecting a less dense to more dense medium.

وبينما ينتشر الضوء عبر القلب باتجاه المركز، فإنه يتقاطع مع وسط أقل كثافة وأكثر كثافة.

Therefore the light rays are being constantly being refracted and ray is bending continuously. This cable is mostly used for long distance communication.

ولذلك فإن الأشعة الضوئية يجري الانكسار باستمرار والشعاع ينحني باستمرار. ويستخدم هذا الكابل في الغالب للاتصال لمسافات طويلة.

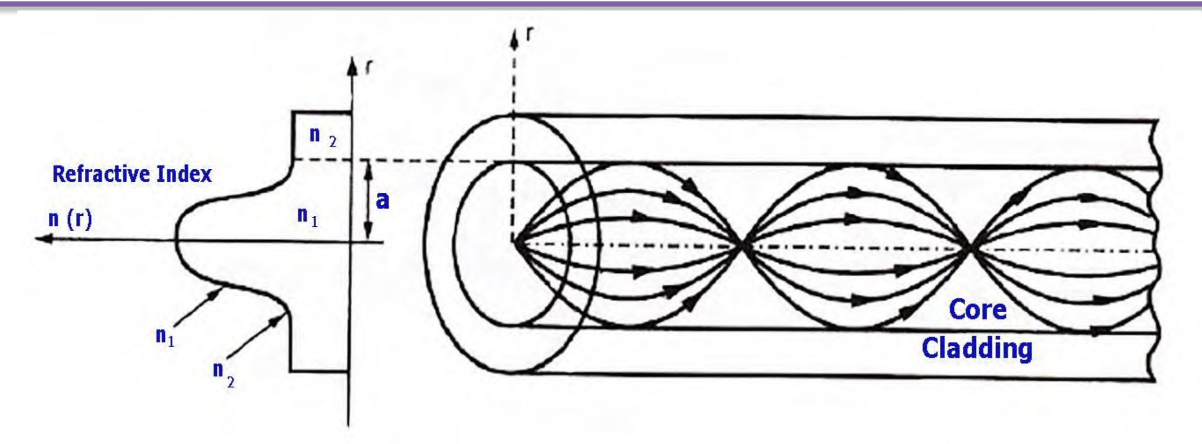


Figure 4.10: The Refractive Index Profile and Ray Transmission in a Multimode Graded Index Fiber.

• The light rays no longer follow straight lines, they follow a serpentine path being gradually bent back towards the center by the continuously declining refractive index.

• لم تعد أشعة الضوء تتبع خطوط مستقيمة، فإنها تتبع مسار منحني يتجه تدريجيا نحو المركز من خلال معامل الانكسار المستمر بالانخفاض.

The modes travelling in a straight line are in a higher refractive index so they travel slower than the serpentine modes.

This reduces the arrival time disparity because all modes arrive at about the same time.

الانماط تنتقل في خط مستقيم في معامل الانكسار أعلى بحيث يصلون أبطأ من النماط المتعرجة. وهذا يقلل من التفاوت في وقت الوصول لأن جميع الأنماط تصل في نفس الوقت تقريبا.

• Fig.4.11 shows the light trajectory in detail. It is seen that light rays running close to the fiber axis with shorter path length, will have a lower velocity because they pass through a region with a high refractive index.

• يوضح الشكل 11.4 مسار الضوء بالتفصيل. ويعتقد أن أشعة الضوء التي تعمل بالقرب من محور الألياف مع طول مسار أقصر، سيكون لها سرعة أقل لأنها تمر عبر منطقة ذات معامل انكسار عالية.

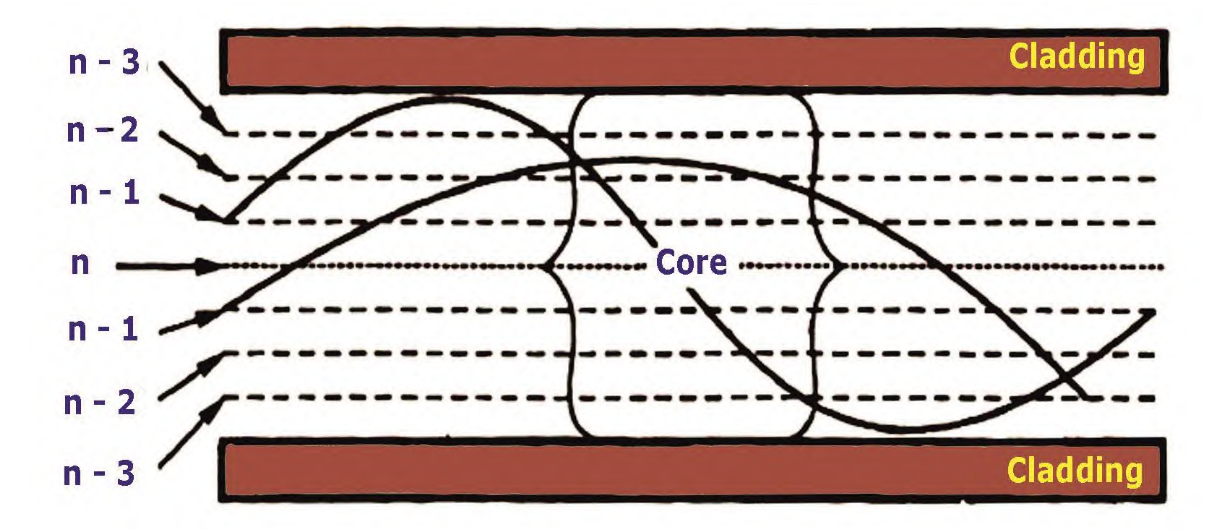


Figure 4.11: Light Trajectories in a Graded Index Fiber

• Rays on core edges offers reduced refractive index, hence travel more faster than axial rays and cause the light components to take same amount of time to travel the length of fiber, thus minimizing dispersion losses. Each path at a different angle is termed as 'transmission mode' and the NA of graded index fiber is defined as the maximum value of acceptance angle at the fiber axis.

• بسبب انخفاض معامل الانكسار على الحواف الأساسية، فالاشعة تتواجد على الحواف وانتقالها يكون بسرعة اكثر من الأشعة المحورية وتسبب مكونات الضوء على أن تأخذ نفس الوقت للانتقال على طول الألياف، وبالتالي تقليل خسائر التشتت.

ويسمى كل مسار في زاوية مختلفة باسم "وضع الإرسال" والفتحة العددية من الألياف مؤشر متدرج يعرف بأنه القيمة القصوى لزاوية القبول في محور الألياف.

• Typical attenuation coefficients of graded index fibers at 850 nm are 2.5 to 3 dB/km, while at 1300 nm they are 1.0 to 1.5 dB/km.

• معامل التوهين النموذجي لألياف معامل المتدرج عند 850 نانومتر يتراوح بين 2.5 الى 3 ديسيبل / كم، بينما تكون عند 1300 نانومتر من 1.0 إلى 1.5 ديسيبل / كم.

• The main advantages of graded index fiber are:

• المزايا الرئيسية للألياف معامل متدرجة هي:

1.increase refractive index at the center of core.

1. زيادة معامل الانكسار في مركز اللب.

The core refractive index gradually decreases in the direction of cladding

ينخفض معامل الانكسار اللب تدريجيا بأتجاه الكسوة

2. Comparatively cheap to produce.

2. انتاجها رخيص نسبياً.

ونعرض في الجدول 2.4 الألياف القياسية المستخدمة حاليا في الاتصالات الألياف البصرية

Table 4.2 Standard fibers

Sr. No.	Fiber type	Cladding diameter (µm)	Core diameter (µm)	Δ	Applications
1.	Single mode (8/125)	125	8	0.1% to 0.2%	1. Long distance 2. High data rate
2.	Multimode (50/125)	125	50	1% to 2%	1. Short distance 2. Low data rate
3.	Multimode (62.5/125)	125	62.5	1% to 2%	LAN
4.	Multimode (100/140)	140	100	1% to 2%	LAN

Chapter 5

Polarization

5 Polarization

5 الاستقطاب

5.1 Introduction

1.5 المقدمة

Light is a transverse electromagnetic wave. It has electric and magnetic field perpendicular to each other and each is perpendicular on the line of wave propagation according to electromagnetic theorem.

الضوء هو موجة كهرومغناطيسية عرضية. لها مجال كهربائي ومغناطيسي عمودي على بعضها البعض وكل مجال عمودي على خط انتشار الموجة.

If the electric field (E) vector resided in a fixed plane, this plane is called the plane of vibration and the light is said to be (plane polarized)

إذا كان المجال الكهربائي (E) متجه ويقع على مستوي محدد، يطلق على هذه المستوي مستوي الاهتزاز و أن الضوء في هذا المستوي مستقطب ويطلق عليه (مستوي الاستقطاب)

5.2 What is Polarization in Physics?

2.5 ما هو الاستقطاب في الفيزياء؟

Polarization, property of certain electromagnetic radiations in which the direction and magnitude of the vibrating electric field are related in a specified way. Light waves are transverse: that is, the vibrating electric vector associated with each wave is perpendicular to the direction of propagation.

الاستقطاب، خاصية الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي يرتبط فيها اتجاه وحجم المجال الكهربائي المهتز بطريقة محددة. موجات الضوء هي عرضية: أي أن المتجه الكهربائي المهتز المرتبط بكل موجة متعامدة مع اتجاه الانتشار.

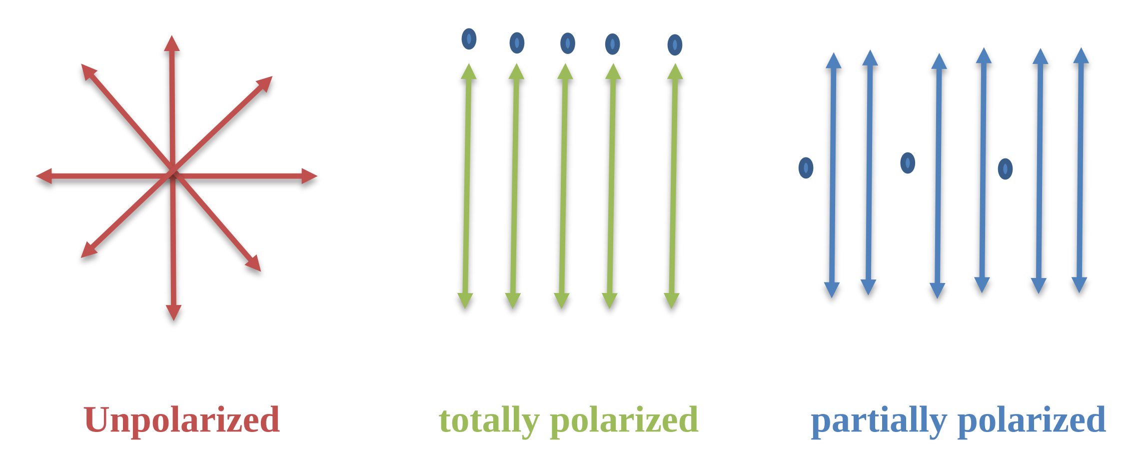


Figure 5.1: Represent Unpolarized, totally polarized and partially polarized.

5.3 There are Three Important Types of Polarization

3.5 هناك ثلاثة أنواع هامة من الاستقطاب

1.Plane polarization
2.Circular Polarization
3.Elliptical Polarization

1.الاستقطاب الخطي
2.الاستقطاب الدائري
3.الاستقطاب الاهليجي

5.3.1 Plane (Linear) Polarization

1.3.5 الاستقطاب الخطي

What is meant by linear polarization?

In electrodynamics, linear polarization or plane polarization of electromagnetic radiation is a confinement of the electric field vector or magnetic field vector to a given plane along the direction of propagation.

ما المقصود بالاستقطاب الخطي؟

أما في الديناميكية الكهربائية، فإن الاستقطاب الخطي أو الاستقطاب المستوي للإشعاع الكهرومغناطيسي هو حصر متجه المجال الكهربائي أو متجه المجال المغناطيسي على مستوي معينة على طول اتجاه الانتشار.

Consider two perpendicular harmonic optical field given by:	نفرض لدينا مجالين من التوافقيات البصرية المتعامدات:

$$E_x (z,t) = i\, E_{ox} \operatorname{Cos} (kz - wt) \quad \ldots\ldots\ldots\ (5.1)$$

$$E_y (z,t) = j\, E_{oy} \operatorname{Cos} (kz- wt + \varepsilon) \quad \ldots\ldots\ldots\ (5.2)$$

Where ε = relative phase between the waves.

حيث ع = الطور النسبي بين الأمواج.

The waves move in the positive Z direction

تتحرك الموجات في الاتجاه الموجب لـ Z

The plane of vibration of $E_x(z,t)$ corresponds to the xz- plane , while $E_y(z,t)$ resides in the yz- plane

مستوى اهتزاز $E_x(z,t)$ يتوافق مع المستوي xz ، في حين أن مستوي اهتزاز $E_y(z,t)$ يتوافق مع المستوي yz

The resulting disturbance is the vector sum of two waves :

والاضطراب الناتج هو مجموع متجه من موجتين:

$$E_z (z,t) = E_x (z,t) + E_y (z,t) \qquad \text{..........} \quad (5.3)$$

If $\varepsilon = 0,\pm 2\pi, ,\pm 4\pi,.......$, then the waves are in phase and:

$$E (z,t) = (i E_{ox} + j E_{oy}) \text{ Cos } (kz - wt) \qquad \text{..........} \quad (5.4)$$

The amplitude $(i E_{ox} +j E_{oy})$ is constant to the resultant wave itself is (plane or linearly polarized) as shown in figure 5.2(a)

السعة $(i E_{ox} +j E_{oy})$ ثابتة على نفس الموجة الناتجة هي (مستوية أو مستقطبة خطيا) كما هو مبين في الشكل 2.5 (a)

If $\varepsilon = \pm\pi,\pm 3\pi,.......$, then the waves are 180^o out of phase and:

$$E (z,t) = (i E_{ox} - j E_{oy}) \text{ Cos } (kz - wt) \qquad \text{..........} \quad (5.5)$$

Again the resultant wave has constant amplitude and linearly polarized but the plane of vibration is rotated as shown in figure 5.2 (b).

مرة أخرى الموجة الناتجة لديها سعة ثابتة ويكون الاستقطاب خطي ولكن يتم تدوير المستوي بسبب الاهتزاز كما هو مبين في الشكل2.5 (b).

The plane polarized is referred to as p- state light

يشار إلى المستوي المستقطبة باسم حالة الضوء - P

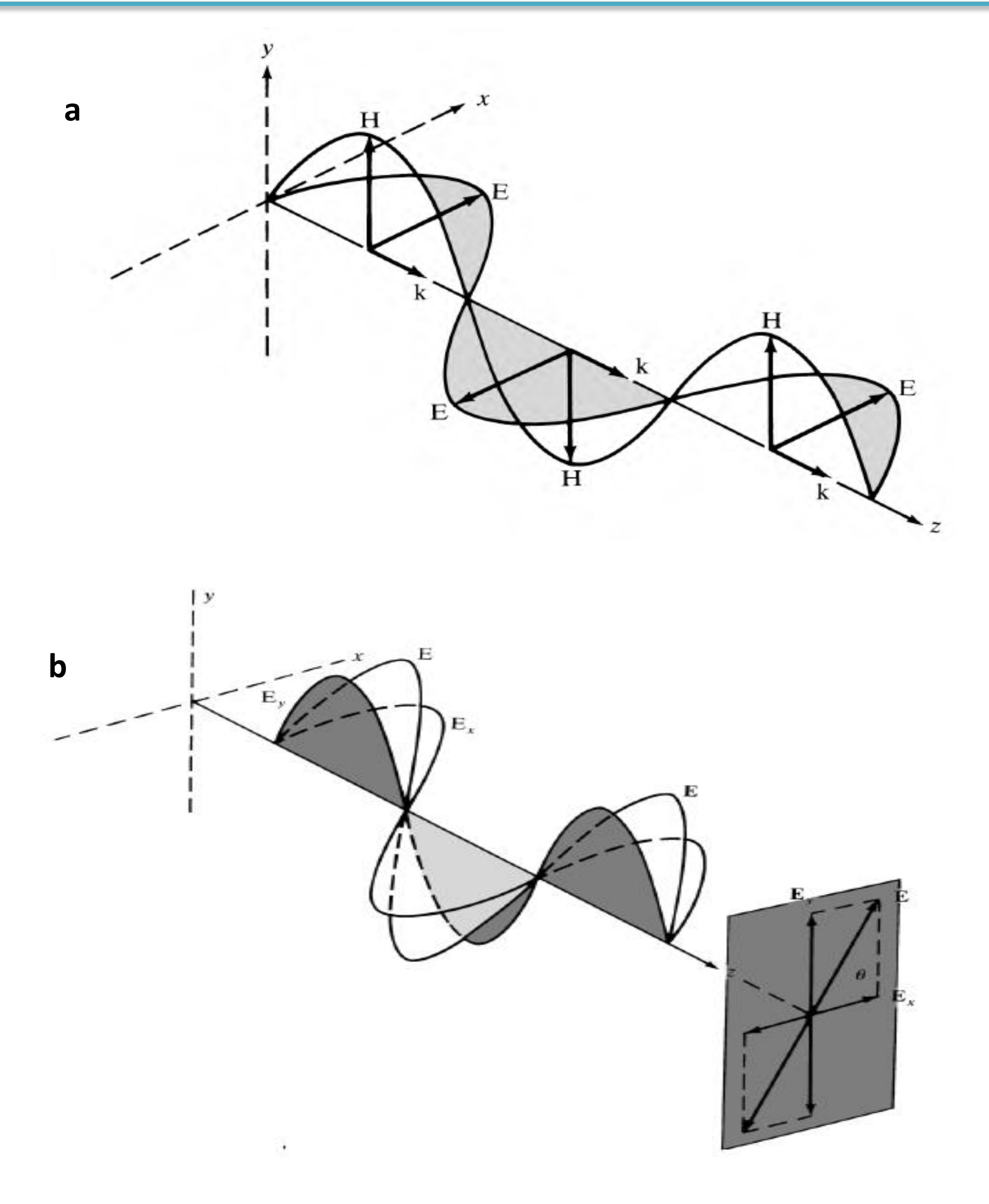


Figure 5.2: Represent a) linearly polarized, b) the vibration is rotated plane.

5.3.2 Circular Polarization

2.3.5 الاستقطاب الدائري

What is circular polarization?

ما هو الاستقطاب الدائري؟

Light is a transverse electromagnetic wave, but natural light is generally unpolarized, all planes of propagation being equally probable.

الضوء هو موجة كهرومغناطيسية عرضية، ولكن الضوء الطبيعي هو عموما غير مستقطب، وجميع مستويات الانتشار من المحتمل هي متساوية .

If light is composed of two plane waves of equal amplitude by differing in phase by 90°, then the light is said to be circularly polarized.

إذا كان الضوء يتكون من موجتين مستوية ذات سعة متساوية ولكن الاختلاف يكون في الطور بمقدار 90° درجة بينهما، عندئذ يقال إن الضوء مستقطب دائريا.

If the two orthogonal waves have equal amplitude:

اذا كان لدينا موجتين متعامدتين متساويتين في السعة:

$$E_{ox} = E_{oy} = E_o$$

and

$$\varepsilon = -\frac{\pi}{2} + 2m, \ (m = 0\ , \pm 1\ , \pm 2, \dots \dots)$$

It becomes our

$$\varepsilon = -\frac{\pi}{2}, +\frac{3\pi}{2}, -\frac{5\pi}{2}, +\frac{7\pi}{2}, -\frac{9\pi}{2}, \dots \dots \dots$$

$$\therefore Ex\,(z,t) = i\ E_o \ Cos\ (kz - wt)$$

$$E_y\,(z,t) = j\ E_o \ Sin\ (kz - wt)$$

The specific values of (ε) will shift the Cosine function to a Sine function.

The resultant wave is:

القيم المحددة لـ (ε) ستغير الدالة جيب التمام (Cosine) إلى دالة الجيب (Sine) و تكون الموجة الناتجة هي:

$E = E_x + E_y$

$$\therefore \quad E = iE_o \, Cos\,(kz - wt) + j\, E_o \, Sin\,(kz - wt) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5.6)$$

$$E = E_o \,[\, i\, Cos\,(kz - wt) + j\, Sin\,(kz - wt)\,] \quad \ldots\ldots\ldots R.C.P.$$

The magnitude of E is E_O = Constant, the direction of E is a function of **z** and **t** as in figure 5.3 (a), E (electric field vector) rotates clockwise. Because the amplitude is constant, the endpoint of E sweeps out a circle with frequency to that of the constituent waves.

مقدار E هو E_O = ثابت، اتجاه E هو دالة z و t كما هو موضح في الشكل3.5 (a)، E (متجه المجال الكهربائي) يدور في اتجاه عقارب الساعة. ولأن الاتساع ثابت، فإن نقطة النهاية E تجتاح دائرة ذات تردد إلى الموجات المكونة.

Such **a** Field is said to **b Right Circularly Polarized** corresponding to an (R - state)

ويقال إن هذا المجال هو "مستقطب دائري يميني" , و هو متماثل مع (R - state)

If $\quad \mathcal{E} = \frac{\pi}{2} - 2m \;,\; (m = 0\,,\, \pm 1\,,\, \pm 2, \ldots \ldots\,)$

or $\quad \mathcal{E} = \frac{\pi}{2}\,,\, -\frac{3\pi}{2}\,,\, \frac{5\pi}{2}\,,\, -\frac{7\pi}{2}\,,\, +\frac{9\pi}{2}\,, \ldots\ldots\ldots$

The Cosine is shifted into the negative sine, giving:

تحول جيب التمام إلى الجيب السالب، مما يعطي:

$$E_x\,(z,t) = i\, E_o\, Cos\,(kz - wt)$$

$$E_y\,(z,t) = -\, j\, E_o\, Sin\,(kz - wt)$$

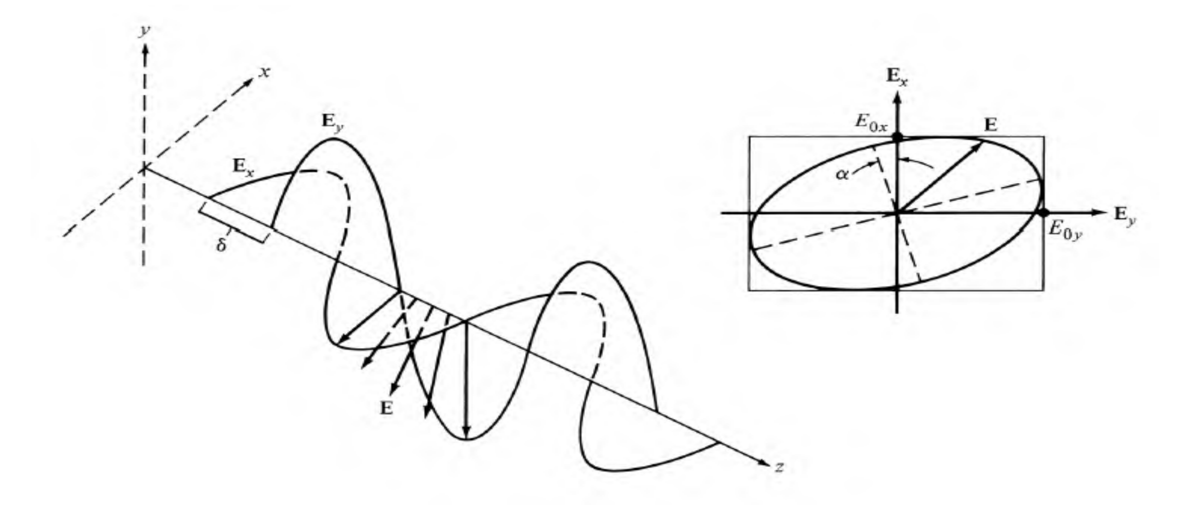
$$E = iE_o\, Cos\,(kz - wt) - j\, E_o\, Sin\,(kz - wt) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5.7)$$

$$E\,(z,t) = E_o\,[i\, Cos\,(kz - wt) - j\, Sin\,(kz - wt)] \quad \ldots\ldots\ldots L.C.P.$$

Again E = Constant , it rotates counter clock wise as shown in figure 5.3 (b), to the field is **Left Circularly Polarized** corresponding to an ($\mathcal{L}$ - state)

مرة أخرى E = ثابت، فإنه يدور بطريقة عكس عقارب الساعة كما هو مبين في الشكل 3.5 (b) ، ويقال ان هذا المجال هو "مستقطب دائري يساري" و هو متماثل او متطابق مع ($\mathcal{L}$ - state).

a



b

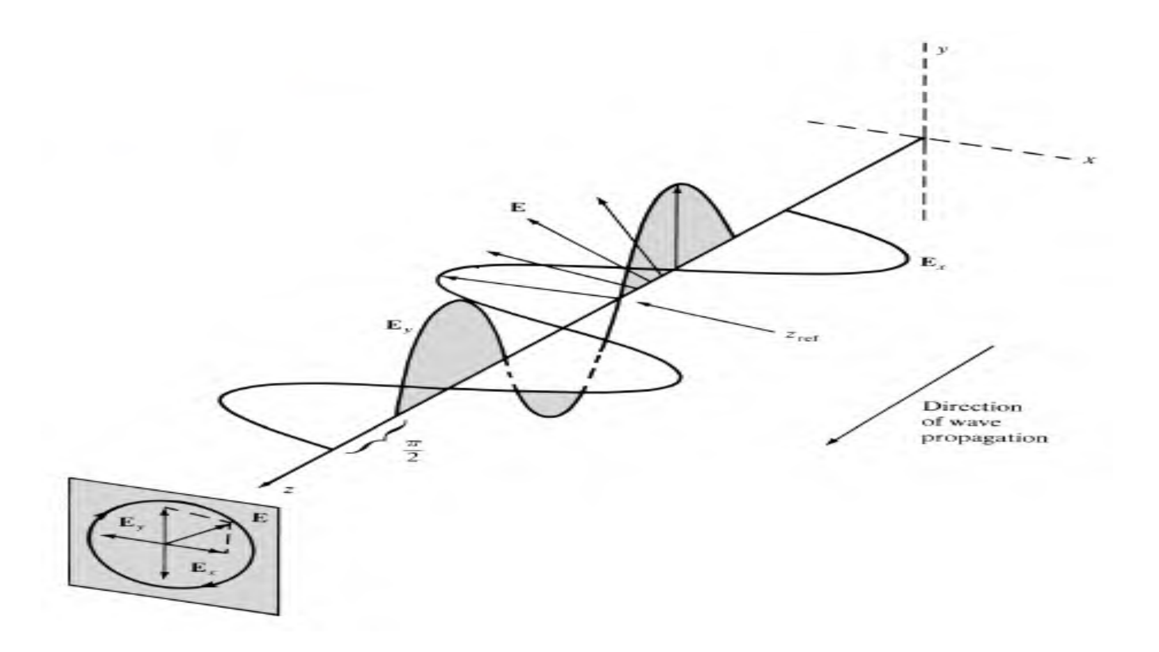


Figure 5.3: Represent a) (electric field vector) rotates clockwise, b) the Left Circularly Polarized.

All – polarization states can be synthesized out of

كل ـ حالات الاستقطاب يمكن توليفها للخروج

R – states and $\mathcal{L}$ - states

Note: if we add R-C-P to the L-C-P we get

$E = 2E_o\, i\cos(kz - wt)$

Which has amplitude ($2E_o i$) to which led to linearly polarized.

ملاحظة: إذا أضفنا R-C-P إلى L-C-P نحصل على

$$\mathbf{E = E_x + E_y}$$

$$\mathbf{E = E_o\,[\, i\cos(kz - wt) + j\sin(kz - wt)\,] + E_o\,[\, i\cos(kz - wt) - j\sin(kz - wt)\,]}$$

$$\mathbf{E = 2E_o\, i\cos(kz - wt)}$$

اذاً لدينا السعة ($2E_o i$) التي تؤدي إلى الاستقطاب الخطي

5.3.3 Elliptical Polarization

3.3.5 الاستقطاب الاهليجي

What is elliptical polarization?

ما هو الاستقطاب الاهليجي؟

In electrodynamics, elliptical polarization is the polarization of electromagnetic radiation such that the tip of the electric field vector describes an ellipse in any fixed plane intersecting, and normal to, the direction of propagation.

أما في الديناميكا الكهرومغناطيسية، فإن الاستقطاب الاهليجي هو استقطاب الإشعاع الكهرومغناطيسي بحيث يصف طرف متجه المجال الكهربائي اهليجياً في أي مستوى ثابت يتقاطع، ويكون طبيعيا في اتجاه الانتشار.

Linear and Circular light may be considered special cases of elliptical polarized light (elliptical light).

ويمكن اعتبار الضوء الخطي والدائري حالات خاصة من الضوء المستقطب الاهليجي (ضوء اهليجي الشكل).

The end point of E – field vector sweeps out an ellipse perpendicular to k, as E changes in magnitude and direction (rotate).

نقطة نهاية E – تجتاح متجه المجال من القطع الناقص عمودي على k، كما يتغير E في حجم واتجاه (التدوير).

We again write the Ex , Ey components, this time in scalar form as:

نحن مرة أخرى نكتب مكونات Ex، Ey وهذه المرة في الشكل العددية على النحو التالي:

وسوف نعتمد على المعادلات التي ذكرت في بداية الفصل وهي بنفس التسلسل:

$E_x (z,t) = i\, E_{ox} \, Cos\, (kz - wt)$ …………..(5.1)

$E_y (z,t) = j\, E_{oy} \, Cos\, (kz- wt + \varepsilon)$ …………..(5.2)

The equation we won't must not be a function of z or t .
Expand the expression for (Ey) to separate ε from the phase and remove the explicit dependence on (kz - wt) , so we have after some manipulation:

المعادلة يجب أن لا تكون دالة لـ(z أو t).
نبسط التعبير مع (E_y) لفصل ε من الطور وإزالة الاعتماد المحدد على (kz - wt)، لذلك لدينا بعض المعالجة:

$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right) Cos\, \varepsilon = Sin^2\, \varepsilon \quad …………..(5.8)$$

This is the equation of an ellipse tilted at an angle (α) to the Ex – axis in figure.
هذه هي المعادلة إلاهليلجية التي تميل بزاوية (α) على المحور – Ex كما في الشكل.

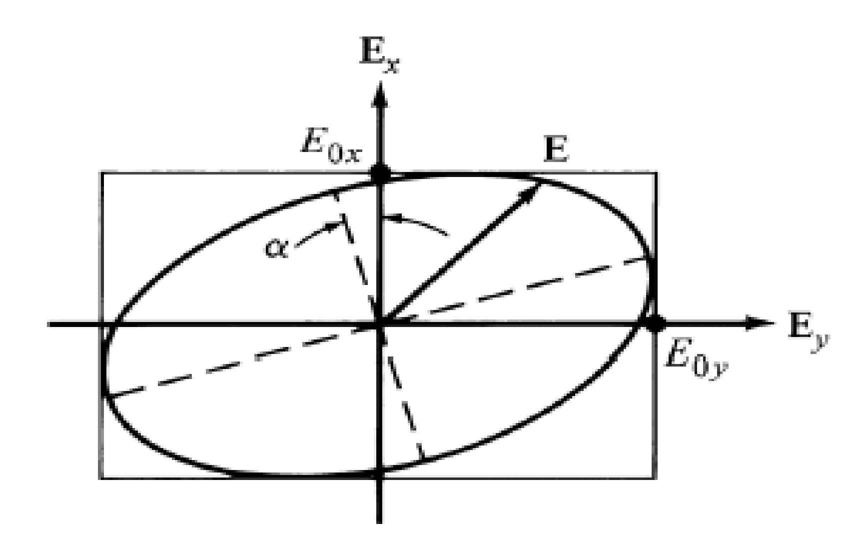


Figure 5.4: discern ellipse polarization of electromagnetic radiation.

The value of (α) can be computed from the equation:

ويمكن حساب قيمة (α) من المعادلة:

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{ox}E_{oy}}{E_{ox}^2 - E_{oy}^2} \quad \text{Cos } \xi \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5.9)$$

The elliptical polarized referred as (ξ - state)

الاستقطاب الاهليجي المشار إليها كما (الحالة -ξ)

a) When $\alpha = 0$

or

$$\xi = \pm\frac{\pi}{2}, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \pm\frac{7\pi}{2}, \ldots\ldots\ldots$$

Then equation (5.8) became:

$$\therefore \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 + \left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 = 1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5.10)$$

If **(Eoy = Eox)** this can be reduced to :

$$\therefore \quad E_y^2 + E_x^2 = E_o^2$$

circale polarized light

b) When $\xi = \pm 2\pi, \pm 4\pi, \ldots \ldots$

Then equation (5.8) became:

$$\therefore E_y = \frac{E_{oy}}{E_{ox}} \, E_x$$

When $\xi = 0, \pm\pi, \pm 3\pi, \ldots \ldots$

$$\therefore E_y = -\frac{E_{oy}}{E_{ox}} \, E_x$$

Straight lines having slope of $\left(\pm\frac{E_{oy}}{E_{ox}}\right)$

Linear polarized light

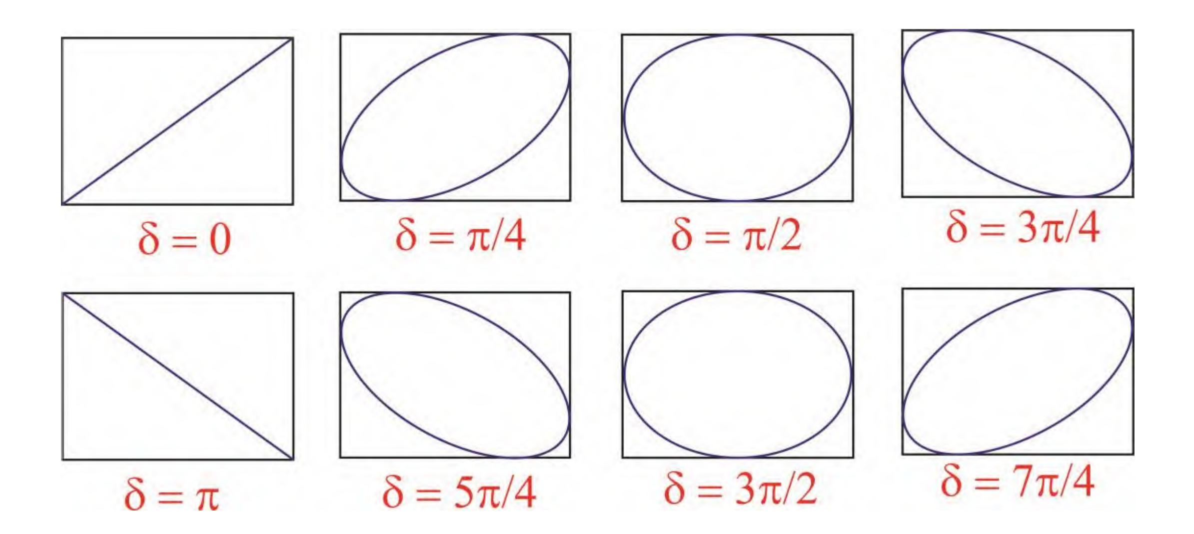


Figure 5.5: Represent Polarization by rotation angle.

5.4 Degree of Polarization

4.5 درجة الاستقطاب

Usually light is neither totally polarized nor unpolarized but a mixture of the two types.

وعادة ما يكون الضوء غير مستقطب تماما او غير مستقطب ولكن خليط من هذين النوعين.

Thus the two orthogonal (p-state) representing the wave will have unequal amplitude or a non – randomly varying (Ɛ)

وبالتالي فإن الاثنين متعامد (حالة-p) تمثل موجة سيكون لها اتساع غير متكافئ أو تغير غير عشوائي (Ɛ)

In such cases the light is say to be partially polarized of this condition is the degree of polarization (V), which define as:

في مثل هذه الحالات يكون الضوء هو الاستقطاب الجزئي لهذا الشرط و درجة الاستقطاب (V)، والتي تعرف على النحو التالي:

$$V= \frac{I_P}{I_P+I_U} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5.11)$$

Where I_p, I_u are constituent flux densities of polarized and unpolarized light respectively.

حيث I_p، I_u هي كثافة التدفق الاساسي من الضوء المستقطب وغير المستقطب على التوالي.

$(I_p + I_u)$ is the total irradiance to V the fractional polarized component

$(I_p + I_u)$ هو الإشعاع الكلي إلى V مركب الاستقطاب الجزئي

5.5 Jones Vector

Consider a ray of light directed perpendicularly out of the page, situated at origin of the axis system as in Figure 5.6.

نعتبر ان شعاع من الضوء موجهة بشكل عمودي خارج من الصفحة، وقائم على أصل نظام المحور كما في الشكل (6.5).

The components of E-field along The (x) and (y) axes are (E_x) and (E_y)

مكونات المجال الكهربائي على طول المحوران (x) و (y) هما (E_x) و (E_y)

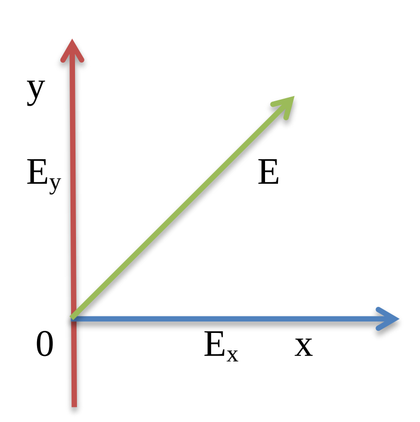


Figure 5.6.

In terms of the unit vector (i) & (j):

وصف متجه الوحدة (i) و (j):

$$E = iE_x + jE_y \qquad \text{.............. (5.12)}$$

Since the vibration components are space & time dependence so:

$$Ex = E_{ox}\, e^{i(kz-wt+\phi x)} \qquad \text{.............. (5.13)}$$

$$Ey = E_{oy}\, e^{i(kz-wt+\phi y)} \qquad \text{.............. (5.14)}$$

Eq's (3.13) & (5.14) are component wave traveling in the Z direction

With (E_{ox}) & (E_{oy}) = amplitudes

(ϕ_x) & (ϕ_y) = phases

The combination of (3.13) & (5.14) in (5.12) will be:

$E = i\,E_{ox}\,e^{i(kz-wt+\phi x)} + j\,E_{oy}\,e^{i(kz-wt+\phi y)}$

$E = [\,i\,E_{ox}\,e^{i\phi x} + j\,E_{oy}\,e^{i\phi y}]\,e^{i(kz-wt)}$ ………….. (5.15)

$E = \acute{E}_o\,e^{i(kz-wt)}$ ………….. (5.16)

Where ($\acute{E}_o$) = complex amplitude for the polarized wave

Since the state of polarization of light is completely determined by the amplitude and phases of the components to we only concentrate on the (complex amplitude) which we write as a two element matrix or in (jones vector) we write:

وبما أن حالة الاستقطاب للضوء يتم تحديدها بالكامل من خلال السعة والطور للمركبات، فإننا نركز فقط على (السعة المعقدة) التي نكتبها كمصفوفة عنصرين أو في (متجه جونز) نكتب:

$\acute{E}_o = \begin{vmatrix} \acute{E}_{OX} \\ \acute{E}_{Oy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \acute{E}o\ e^{i\phi_x} \\ \acute{E}_{oy} e^{i\phi_y} \end{vmatrix}$ ………….. (5.17)

5.6 Description of Linear, Circular & Elliptical Polarization Using Jones Vector

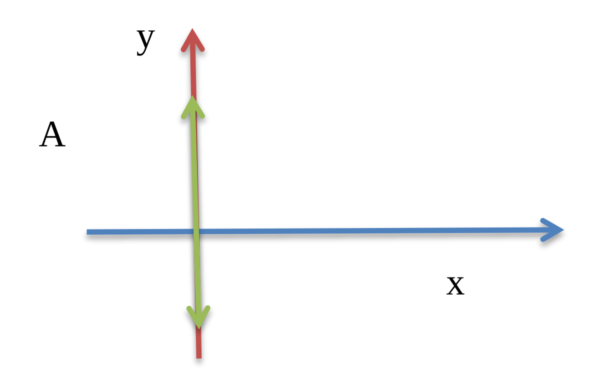
5.6.1 Jones Vector for Linear Polarization 1.6.5 متجه جونز للاستقطاب الخطي

Fieger (5.7): represent vertically polarized light travels in Z- direction with E- oscillation along the y- axis.
Since E actually has a sinusoid ally varying magnitude as it prepress, only the amplitude of E field is symbolized in (+) and (-) y-direction therefore we :

الشكل (7.5): يمثل الضوء المستقطب عموديا يسير في الاتجاه Z مع المتذبذب E- على طول المحور y.
وبما أن E هو في الواقع مقدار زاوية جيبية متفاوتة القيم كما هو معروض، إلا أن اتساع المجال E يرمز إلى (+) و (-) y- مباشرةً وبالتالي فإننا نحصل على:

$E_{ox} = 0$
$E_{oy} = A$
The phase $_y = 0$
The eq. (4) will be:

$$E_o = \begin{vmatrix} 0 \\ A \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$



Fieger 5.7 Vertically polarized.

When only the mode of polarization is of interest therefore A may be set
وعندما يكون وضع الاستقطاب ذا أهمية فقط، يمكن تعيين A

(A=1)

Then lines vector for vertically linearly polarized light is
ثم متجه الخطوط للضوء المستقطب الخطي العمودي هو

$\begin{vmatrix}0\\1\end{vmatrix}$ to jones vector for (vertically) linearly polarized

لأن متجه جونز المستقطبة خطياً (عمودياً)

In general, a vector $\begin{vmatrix}a\\b\end{vmatrix}$ is expressed in normalized form when:

بشكل عام، متجه $\begin{vmatrix}a\\b\end{vmatrix}$ يتم التعبير عنها بالشكل الطبيعي عندما:

$$|a|^2 + |b|^2 = 1$$

Figure 5.8 represent, horizontally polarized light travels in (+Z) direction

لشكل (8.5) يمثل، اتجاه ضوء الاستقطاب الافقي على متجه (+Z)

When: $E_{oy} = 0$, $E_{ox} = A$, $\phi_x = 0$

$$E_o = \begin{vmatrix}0\\A\end{vmatrix} = A\begin{vmatrix}0\\1\end{vmatrix}$$

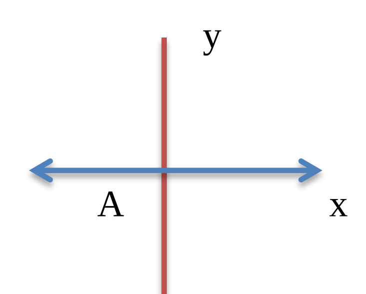


Figure 5.8 Horizontally Polarized.

$\begin{vmatrix}0\\1\end{vmatrix}$ Jones vector for (Horizontally) Linearly Polarized Light

$\begin{vmatrix}0\\1\end{vmatrix}$ متجه جونز، لان الضوء مستقطب خطياً (أفقيا)

Figure (5.9) represents linearly polarized light whose vibration is along a line making an angle (45^o) with respect to x-axis

الشكل (9.5) يمثل الضوء المستقطب خطيا الذي هو الاهتزاز على طول الخط لعمل زاوية (45^o) فيما يتعلق بالمحور (x)

Since we require a relative phase of zero, so we set

وبما أننا نحتاج إلى الطور النسبي من الصفر، لذلك وضعنا

$\phi_x = \phi_y = 0$

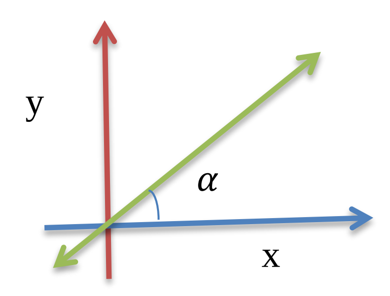
Then the perpendicular component amplitudes are:

ثم سعة المركب العمودي هي:

$E_{ox} = A \cos \alpha$

$E_{oy} = A \sin \alpha$

Jones vector take the form.



Fieger 5.9 Linear polarization with angle α.

$$É o = \begin{vmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi_x} \\ E_{oy}\, e^{i\phi_y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A\cos\alpha \\ A\sin\alpha \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \end{vmatrix}$$ General Jones Vector

For the normalized form of vector we set (A = 1) since:

$$\text{Cos}^2\alpha + \text{Sine}^2\alpha = 1$$

Notice: that the general form of jones vector reduce to jones vectors found for the Cases of Vertical (α= 90) and horizontal (α= 0) polarization

ملاحظة: أن الشكل العام من متجه جونز يقلل من اسس متجهات جونز لحالات الاستقطاب العمودية ($\alpha = 90$) والاستقطاب الأفقي ($\alpha = 0$)

$\alpha = 90$ to Vertical Polarization

$\alpha = 0$ to Horizontal Polarization

Alternatively, for a given vector $\begin{vmatrix} A \\ B \end{vmatrix}$ where a ,b real numbers, the inclination of the linearly polarize light is given by:

بدلاً من ذلك، مع المتجه المحدد $\begin{vmatrix} A \\ B \end{vmatrix}$ حيث b,a ارقام صحيحة، والميل للضوء المستقطب الخطي يعطى من قبل:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{E_{oy}}{E_{ox}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

5.6.2 Jones Vector for Circular Polarization — 2.6.5 متجه جونز للاستقطاب الدائري

Suppose ($E_{ox} = E_{oy} = A$) and (E_x) leads (E_y) by (90^o).

At the instant that (E_x) has reached its maximum displacement (+A) the (E_y) will be zero

في حالة (E_x) وصولها الى الازاحة القصوى (+A) فأن (E_y) ستكون صفراً

When

E_x leads E_y to Ex = +A, Ey =0

A fourth of a period later ($\frac{1}{4}$ *cycle*), (E_x) is zero and (E_y=+a) and so on.

من الفترة الرابعة الاخيرة ($\frac{1}{4}$ دورة)، (E_x) هو صفر و (E_y=+a) وهلم جرا.

When x- vibration leads y- vibration it's new say to make ($\phi_y > \phi_x$).

عندما يؤدي اهتزاز -x لاهتزاز -y سيؤدي الى ($\phi_y > \phi_x$).

To show this .let observe the wave at (z=0)at

لإظهار هذا .سيكون ملاحظة الموجة (z=0) في

Choose (ϕ_x=0, ϕ_y=Ɛ) to (ϕ_y> ϕ_x)

eq (5.13) & (5.14) become:

$\acute{E}_x = E_{ox}\, e^{-iwt}$ .... (a)

$\acute{E}_y = E_{ox}\, e^{-i(wt-Ɛ)}$ .... (b)

The negative sign indicates a lag Ɛ in the y-vibration relative to x-vibration.

تشير الإشارة السلبية إلى تأخر Ɛ في اهتزاز -y بالنسبة إلى اهتزاز -x.

To see that the equations (a) & (b) represent the sequence in the following figure, we take their read parts and set:

نرى المعادلتين (a) و (b) تمثلان التسلسل في الشكل التالي، فإننا نأخذ أجزاء قراءتها ونحدد:

$E_{ox} = E_{oy} = A$ and $Ɛ = \frac{\pi}{2}$

$E_x = A \text{ Cos } wt$

$E_y = A \text{ Cos } (wt - \frac{\pi}{2}) = A \text{ Sin } wt$

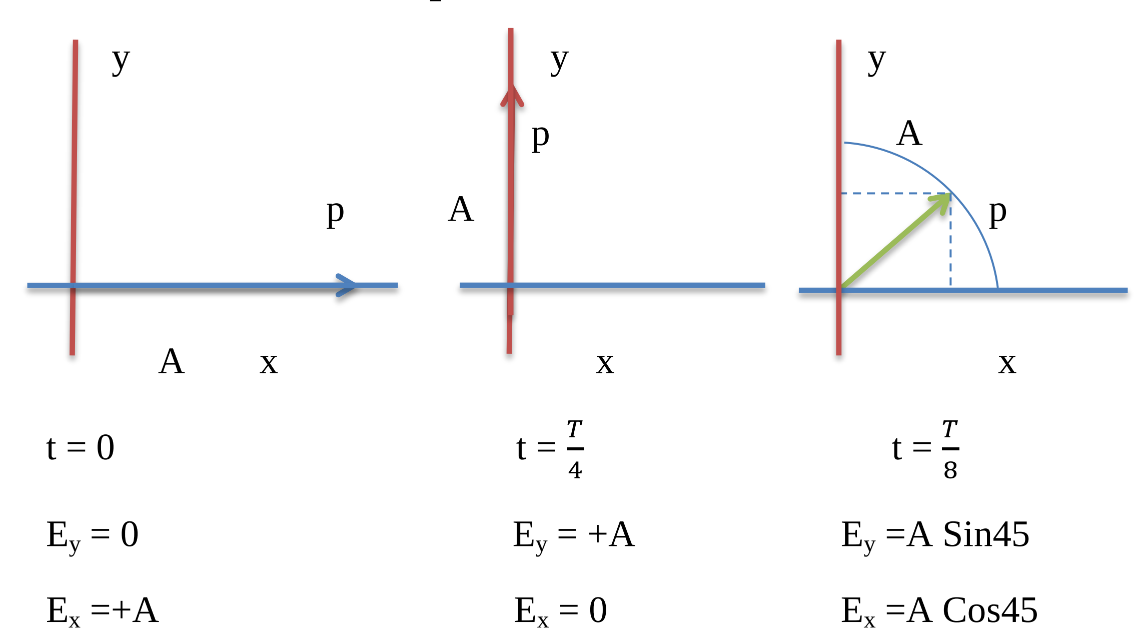


Figure 5.10: Illustrates Jones vector for circular polarization.

Recalling that $w = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, the above cases can be verified.

Also, since:

$$E^2 = E_x^{\ 2} + E_y^{\ 2}$$

$$E^2 = A^2 (\cos^2 wt + \sin^2 wt) = A^2$$

The tip of resultant vector traces out a circular of radius (A).

∴ Jones vector for this case where

E_x lead E_y by $\frac{\pi}{2}$

$E_{ox} = E_{oy} = A$ Then

$\phi_x = 0$, $\phi_y = \frac{\pi}{2}$

$$\acute{E}_o = \begin{vmatrix} E_{ox} e^{i\phi x} \\ E_{oy} e^{i\phi y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A \\ A e^{i\frac{\pi}{2}} \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} 1 \\ i \end{vmatrix} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.18)$$

To determine the normalized form of this vector, we notice:

لتحديد شكل طبيعة هذا المتجه، نلاحظ:

$$1^2 + |i|^2 = 1+1 = 2$$

So each element must be divided by ($\sqrt{2}$) to produce unity

لذلك يجب تقسيم كل عنصر لوحدة على ($\sqrt{2}$) لإنتاج الوحدة

$$\therefore E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ i \end{vmatrix}$$

Jones vector for circularly polarization light for E rotates (counter clock wise) it called (Left Circularly Polarized) light (L.C.P.).

مع متجه جونز لتدوير ضوء الاستقطاب الدائري لـ E (عكس عقارب الساعة) يدعى ضوء (الاستقطاب الدائري اليساري) (L.C.P.).

Similarly if:

E_y leads E_x by $\frac{\pi}{2}$ (or E_x log E_y by $\frac{-\pi}{2}$)

$$E_{ox} = E_{oy} = A$$

Replace $(\frac{\pi}{2})$ by $(\frac{-\pi}{2})$ in equation

$$\therefore E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ -i \end{vmatrix}$$

jones vector for circularly polarization light for E rotates (clock wise) it called (Right Circularly Polarized) light (R.C.P.).

مع متجه جونز لضوء الاستقطاب الدائري لـ E تدور (بإتجاه عقارب الساعة) ويدعى ضوء (الاستقطاب الدائري اليميني) (R.C.P.).

Note:

One of the elements in jones vector for circularly polarized light is imaginary, and the magnitudes of the elements are the same.

واحد من العناصر في متجه جونز للضوء المستقطب الدائري هو الوهمي، ومقدار العناصر هي نفسها.

Due to the mathematical form of the vector, the actual character of the light may not always be immediately apparent.

ونظرا للشكل الرياضي للمتجه، قد لا يكون الصفة الفعلية للضوء دائما واضحا على الفور.

For example if jones vector $\begin{bmatrix} 2i \\ 2 \end{bmatrix}$ represent right circularly polarized light since:

على سبيل المثال إذا كان متجه جونز $\begin{bmatrix} 2i \\ 2 \end{bmatrix}$ يمثل الضوء المستقطب بشكل دائري يميني فأن:

$$\begin{bmatrix} 2i \\ 2 \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} i \\ 1 \end{bmatrix} = 2i \begin{bmatrix} i \\ -i \end{bmatrix}$$

∴ The prefecture of jones vector may affect the amplitude and hence,

the irradiance of light but not the polarization mode. So prefecture such as (2) & (2i) may be ignored.

∴ مصطلحات متجه جونز قد تؤثر على الاتساع، وبالتالي، نعتبرإشعاع الضوء ليس نمط مستقطب. لذلك قد يتم تجاهل مصطلحات مثل (2) و (2i).

Unless information regarding energy is required.

ما لم تكن هناك حاجة لمعلومات تتعلق بالطاقة.

5.6.3 Jones Vector for Elliptical Polarization: 3.6.5 متجهات جونز للاستقطاب الاهليجي:

Suppose even though the phase difference between the component orthogonal vibration is (90°) but the vibration are of unequal amplitude ie.

لنفترض على الرغم من أن الفرق الطوري بين الاهتزاز المتعامد للمكون هو (90 درجة) ولكن اهتزازات الاتساع غير متساوية.

E_x lead E_y

IF $E_{ox} = A$

$E_{oy} = B$

∴ eq (5.18) is modified to give :-

$\begin{vmatrix} A \\ iB \end{vmatrix} \rightarrow ellipes\ with\ counter\ clockwise\ rotation$

$\begin{vmatrix} A \\ iB \end{vmatrix}$ ← قطع ناقص و دوران عكس عقارب الساعة

and E_y lead E_x

$\begin{vmatrix} A \\ -iB \end{vmatrix} \rightarrow ellipes\ with\ clockwise\ rotation$

$\begin{vmatrix} A \\ -iB \end{vmatrix}$ ← قطع ناقص و دوران مع عقارب الساعة

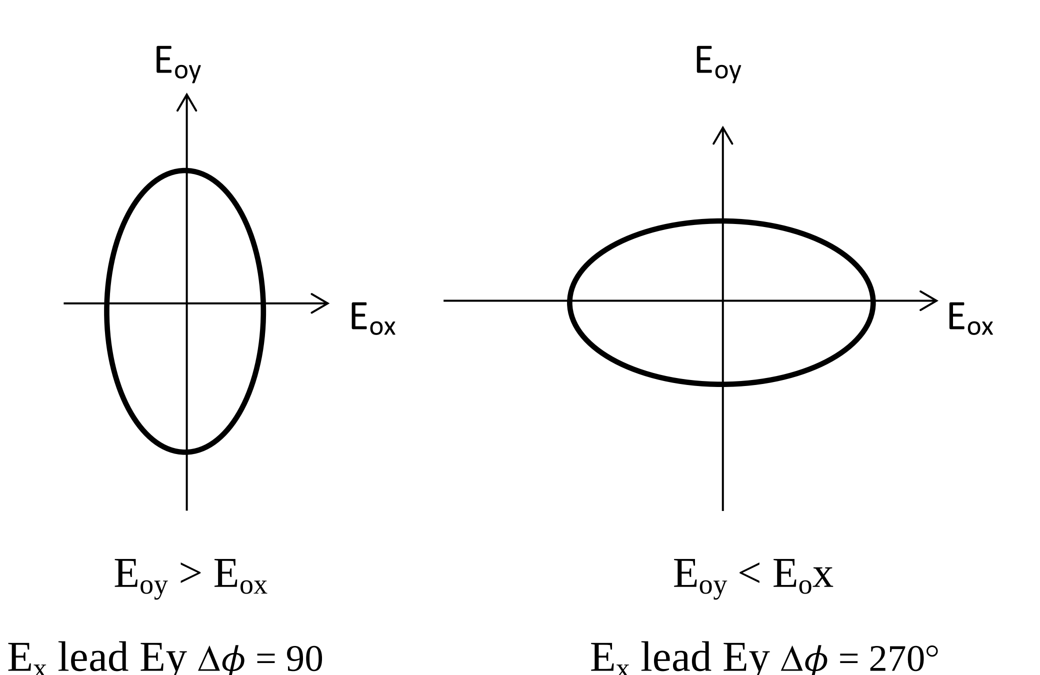
When

E_x lead E_y $\rightarrow$ countered clockwise rotation دوران عكس عقارب الساعة

E_y lead E_x $\rightarrow$ clockwise rotation دوران مع عقارب الساعة

In the following figure for $\Delta\phi = 90°, 270°$ represent elliptical polarization also the lag of 90 is equivalent to a lead of 270

في الشكل التالي لـ $\Delta\phi = 90°, 270°$ يمثل الاستقطاب الاهليجي أيضا تأخر من 90° يعادل تقدم من 270°



Elliptically Polarization Light Elliptically Polarization Light

Figure 5.11: Illustrates Jones Vector for Elliptical Polarization.

We conclude that, Jones vector with element of unequal magnitude one of which is imaginary represents (elliptically polarization light) originated along xy – axes.

نستنتج من ذلك، أن متجه جونز بعنصر واحد من القيم الغير متساوية الذي يمثل الحد الخيالي (ضوء الاستقطاب الإهليلجي) أنشأ على طول محور - xy.

The normalized form of jones vector for this case must include a perfect or of

الشكل الطبيعي لمتجه جونز يجب أن يتضمن لهذه الحالة المثالية أو

$$\frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

From the elliptical form we can see: من الشكل الاهليجي يمكننا أن نرى:

When

$\Delta\varphi = m\pi \;\rightarrow$ (linear polarized light)

$\Delta\varphi = (m + \frac{1}{2}) \;\rightarrow$ (circular or elliptical polarization oriented symmetrically about XY-axis)

$m = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots$

*now in general if we consider the case where E_x lead E_y by some angle ε

* الآن و بشكل عام إذا نعتبر ان حالة E_x تقود الى E_y بزاوية ε

$$\phi_y - \phi_x = \varepsilon$$

Take

$\phi_x = 0 \quad , \quad \phi_y = \varepsilon \quad , \quad E_{ox} = A \quad , \quad E_{oy} = b$

Jones vector is

$$\tilde{E}_O = \begin{vmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi x} \\ E_{oy} e^{i\phi y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A \\ b e^{i\varepsilon} \end{vmatrix}$$

$\phi_x = 0$, $\phi_y = \frac{\pi}{4} = 45°$, $E_{ox} = A$, $E_{oy} = b$

$$\tilde{E}_O = \begin{vmatrix} E_{ox}\, e^{i\phi x} \\ E_{oy} e^{i\phi y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A \\ be^{i\frac{\pi}{4}} \end{vmatrix}$$

$$be^{i\frac{\pi}{4}} = \text{b}\,(\cos 45 + i \sin 45) = b\frac{1}{\sqrt{2}} + i\frac{b}{\sqrt{2}} = B + iC$$

$$\therefore \quad \tilde{E}0 = \begin{vmatrix} A \\ B + iC \end{vmatrix}$$

$$|A|^2 + |B|^2 + |iC|^2 = A^2 + B^2 + C^2$$

$$\therefore \quad \tilde{E}0 = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \begin{vmatrix} A \\ B + iC \end{vmatrix}$$

OR

$$\Delta\phi = -\frac{\pi}{4}$$

$$\tilde{E}_O = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \begin{vmatrix} A \\ B - iC \end{vmatrix}$$

Using Euler's theorem we write:-

$$\text{b}e^{i\varepsilon} = \text{b}\,(\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) = b \cos \varepsilon + ib \sin \varepsilon = B + iC$$

Then jones vector is:-

$$\tilde{E}0 = \begin{vmatrix} A \\ B + iC \end{vmatrix} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5.19)$$

Here are of the elements (B+iC) is now a complex no. having both real and imaginary parts.

وهنا من العناصر (B+iC) هو الآن معقدة. لوجودنا أجزاء حقيقية وخيالية.

The normalized form must be divided by ($\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$)

الشكل الطبيعي يجب ان يقسم بواسطة ($\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$)

This form of jones vector is the most general including all those

discussed previously as special cases

شكل متجه جونز هي الاكثر شمولية بما في ذلك جميع تلك التي نوقشت سابقا كحالات خاصة

The angles of inclinational (α) of the ellipse whose jones vector is eq(5.19) is determined by:

يتم تحديد زوايا ميلان القطع الناقص (α) لمتجه جونز بتحديد من قبل معادلة (19.5):

$$\tan 2x = \frac{2E_o x \; E_o y \; \cos Ɛ}{E_o x^2 - E_o y^2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; (5.20)$$

If the ellipse is situated in a rectangle of sides ($2E_o x$) and ($2E_o y$) , the derivative of jones vector in eq.(5.19) makes clear that:

إذا كان القطع الناقص يقع في مستطيل من الجانبين ($2E_o x$) و ($2E_o y$)، فإن مشتق متجه جونز في المعادلة (19.5) يوضح ذلك:

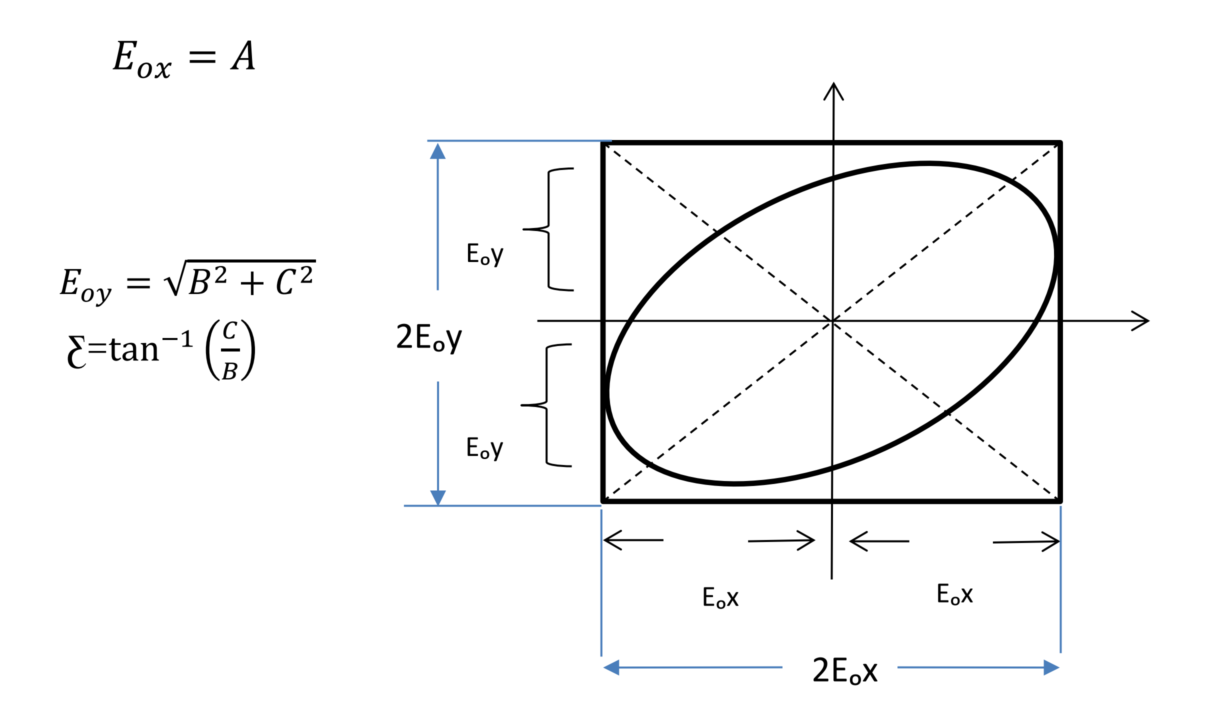


Figure 5.12: Illustrates this form of jones vector.

Example 5.1:

If $\begin{vmatrix} 3 \\ 2+i \end{vmatrix}$ is jones vector

It represents elliptically polarized light with relative phase between component vibrations of ?
وهو يمثل الضوء المستقطب الاهليجي الشكل مع المرحلة النسبية بين الاهتزازات للمكون منه؟

$\phi_y - \phi_x = ع = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) = 26.6$

$as \quad E_{Ox} = 3 \quad \& \quad E_{Oy} = \sqrt{2^2+1^2} = \sqrt{5}$

∴ The inclination angle is:	اذاً زاوية الميل هي:

$\propto = \frac{1}{2}\tan^{-1}\frac{(2)(3)(\sqrt{5})\cos(26.6^\circ)}{9-5} = 35.8^\circ$

The eq. of ellipse is given by:

$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)\cos ع = \sin^2 ع$$

∴ The equation of the ellipse for the above example is:

$$\frac{{E_x}^2}{9} + \frac{{E_y}^2}{5} - 0.267\, E_x E_y = 0.2$$

* Now in general but when

E_x lags E_y

The phase angle ع becomes negative then we get jones vector representing a clockwise rotation:

تصبح زاوية الطور ع سالبة ثم نحصل على متجه جونز يمثل دوران مع عقارب الساعة:

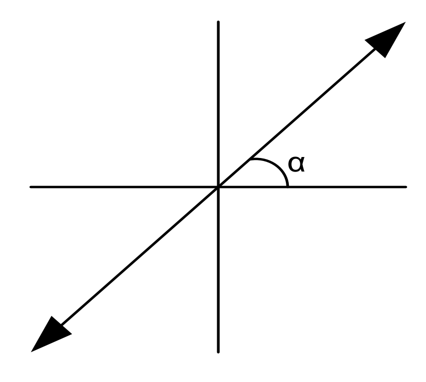
$E_o = \begin{vmatrix} A \\ B - iC \end{vmatrix}$

5.7 Summary of Jones Vector

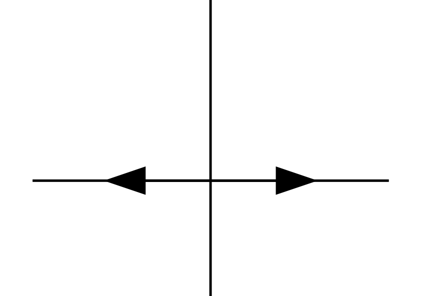
$$E_o = \begin{vmatrix} E_o x e^{i\varphi x} \\ E_o y e^{i\varphi y} \end{vmatrix}$$

1- Linear polarization ($\Delta\phi$=m π)

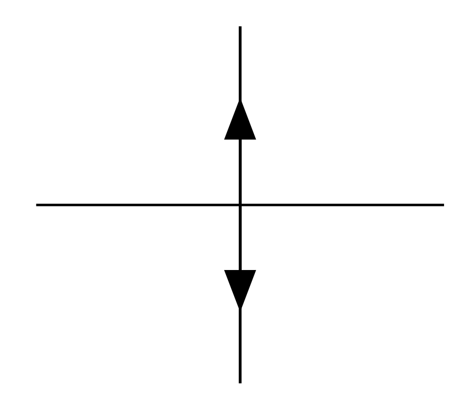
General $E_o = \begin{vmatrix} \cos \propto \\ \sin \propto \end{vmatrix}$



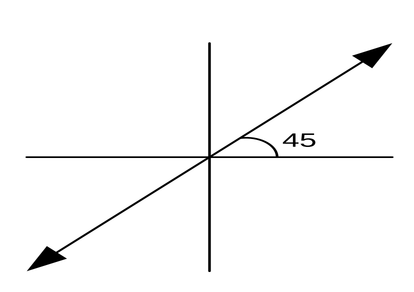
Horizonta $E_o = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \end{vmatrix}$



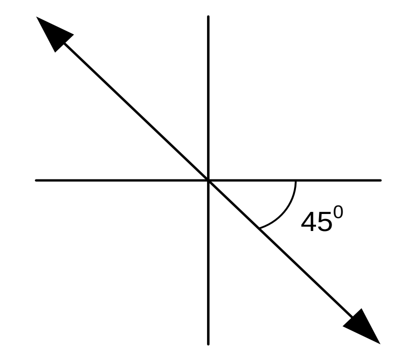
Vertical $E_o = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}$



At (+45°): $E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix}$

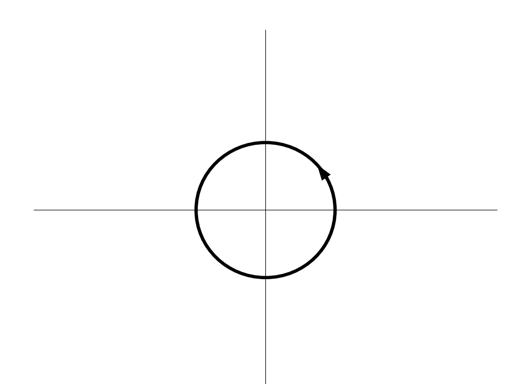


At (-45°): $E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix}$

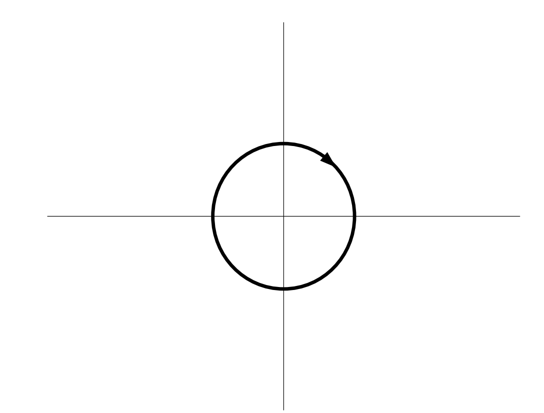


2. Circular polarization ($\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$)

Left: $E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ i \end{vmatrix}$



Right: $E_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ -i \end{vmatrix}$

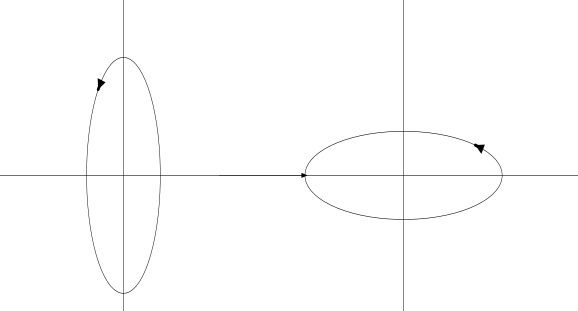


3. Elliptical polarization

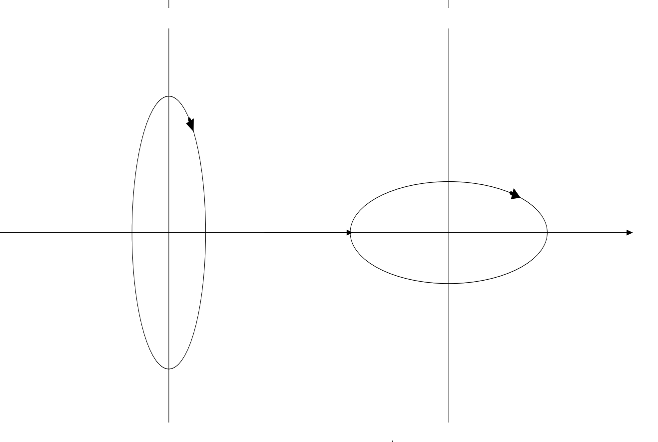
a. When ($\Delta\phi$ = m + $\frac{1}{2}$)

A<B A>B

Left: $E_o = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2}} \begin{vmatrix} A \\ iB \end{vmatrix}$

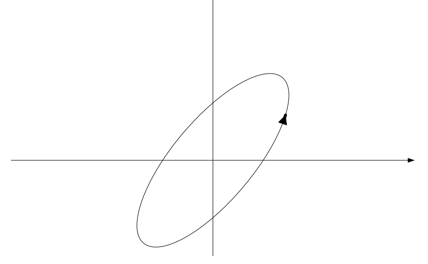


Right: $E_o = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2}} \begin{vmatrix} A \\ -iB \end{vmatrix}$

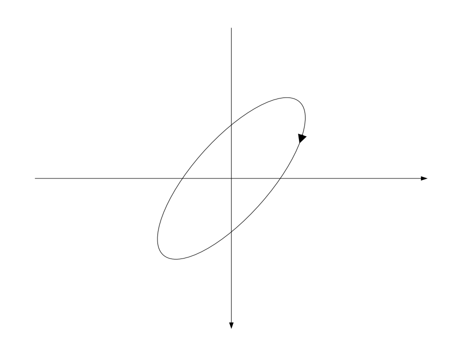


b. When $\Delta Q + \begin{pmatrix} m\pi \\ (m+\frac{1}{2})\pi \end{pmatrix}$

Left: $E_o = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \begin{vmatrix} A \\ B+iC \end{vmatrix}$



Right: $E_o = \frac{1}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} \begin{vmatrix} A \\ B-iC \end{vmatrix}$



This forms of jones vectors are not unique:

1. Any jones vector may be multiplied by a real constant changing amplitude but not polarization mode.

2. Each of the jones vector can be a factor of the form $\left(e^{iQ}\right)$, which has the effect of promoting the phase of element by (Q) that is :

هذه الأشكال من متجهات جونز ليست فريدة من نوعها:

1. يمكن أن يتضاعف كل متجه جونز في اتساع متغير مستمر حقيقي ولكن ليس في وضع الاستقطاب.

2. يمكن أن يكون كل من متجه جونز عاملا في الصيغة $\left(e^{iQ}\right)$، والذي له تأثير تعزيز مرحلة العنصر بواسطة (Q) وهو:

$\phi_x \rightarrow \phi_x + \phi$

and

$\phi_y \rightarrow \phi_y + \phi$

Since the phase difference is unchanged in this process so the new vector represents the same polarization mode.

وبما أن فرق الطور لم يتغير في هذه العملية، فإن المتجه الجديد يمثل نفس نمط الاستقطاب.

For example, multiplying the left-circularly polarization vector by $\left(e^{i\frac{\pi}{2}} = i\right)$

على سبيل المثال، ضرب متجه الاستقطاب الأيسر الدائري بـ $\left(e^{i\frac{\pi}{2}} = i\right)$

$$e^{i\frac{\pi}{2}} \begin{vmatrix} 1 \\ i \end{vmatrix} = i \begin{vmatrix} 1 \\ i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} i \\ -1 \end{vmatrix}$$

Which is the second form of circular polarized vector which is the right –circular polarization

∴ The standard form of jones vector deduced by extracting the factor(i)

اي الشكل الثاني من متجه المستقطب الدائري الذي هو الاستقطاب الدائري اليميني

اذاً نستطيع ان نجد النموذج المعياري (القياسي) لمتجه جونز من خلال استخراج العامل (i)

Note:
The addition of left and right – circular polarized light gives → linearly polarized light of twice the amplitude.

ملحوظة:
اضافة الضوء المستقطب الدائري اليمين الى الضوء المستقطب الدائري اليسار سوف يعطي ← ضوء مستقطب خطياً بضعف السعة

$$\begin{vmatrix}\mathbf{1}\\ \boldsymbol{i}\end{vmatrix} + \begin{vmatrix}\mathbf{1}\\ -\boldsymbol{i}\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}\mathbf{1+1}\\ \boldsymbol{i-i}\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}\mathbf{2}\\ \mathbf{0}\end{vmatrix}$$

The linearly polarized light can be regarded as being made up of left and right – circular polarized light in equal proportion.

ويمكن اعتبار الضوء المستقطب خطيا على أنه تركيب من الضوء المستقطب الدائري اليساري و الضوء المستقطب الدائري اليميني بنسب متساوية.

The superposition of vertically and horizontally linearly polarized light in phase :

تراكب عموديا وأفقيا للضوء المستقطب خطيا في الطور:

$$\begin{vmatrix}\mathbf{0}\\ \mathbf{1}\end{vmatrix} + \begin{vmatrix}\mathbf{1}\\ \mathbf{0}\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}\mathbf{1}\\ \mathbf{1}\end{vmatrix}$$

The result is linearly polarized at $(\mathbf{45}°)$ inclination

وتكون النتيجة مستقطبة خطيا عند ميل (45 درجة)

*The addition of orthogonal components of linearly light is not unpolarize

* إضافة عناصر متعامدة من الضوء الخطي ليست استقطاب

5.8 Mathematical representation of polarizers (Jones matrices)

8.5 التمثيل الرياضي للاستقطاب (مصفوفات جونز)

Some optical elements transmit light but modify the state of polarization. there are three such elements:

بعض العناصر البصرية ترسل الضوء ولكن يتم تعديل حالة الاستقطاب. هناك ثلاثة عناصر من هذا القبيل:

1.linear polarizer

This element selectively removes all or most of the E- vibration in a given direction, while allowing vibration in the perpendicular direction to be transmitted

هذا العنصر يزيل بشكل انتقائي كل أو معظم الاهتزاز E- في اتجاه معين، في حين يسمح الاهتزاز في الاتجاه العمودي أن تنتقل

The un polarized light represented by two perpendicular (x and y) vibration, that can be resolved into component along these directions, it traveling in the (+z-direction).

الضوء غير المستقطب الذي يمثله اهتزاز (x و y) المتعامدات، التي يمكن حلها في مكون على طول هذه الاتجاهات، فإنه ينتقل في (الاتجاه + z).

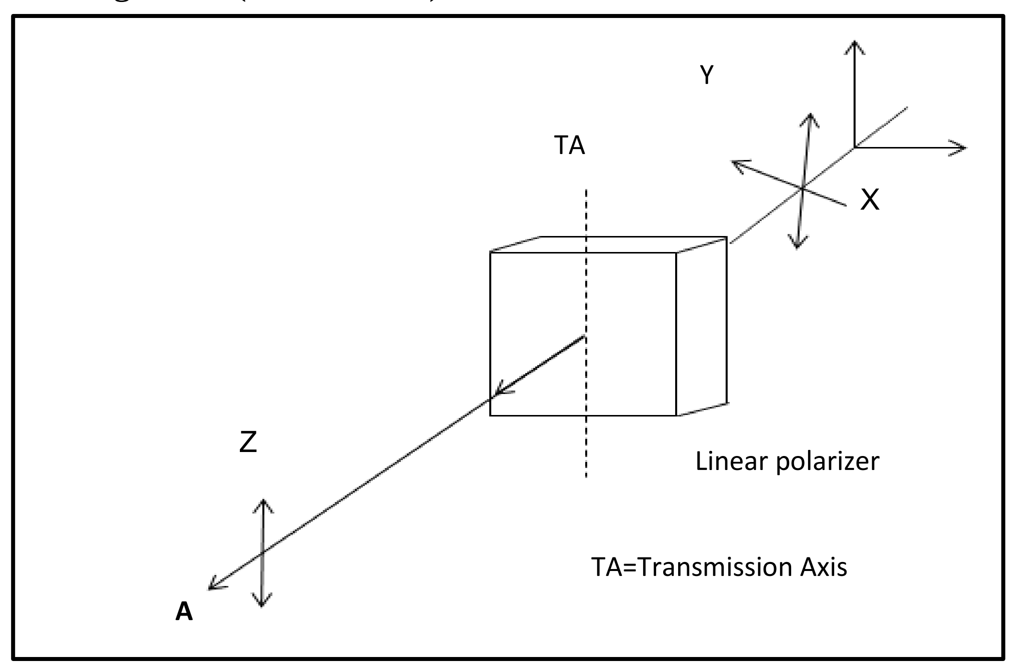


Figure 5.13: Illustrates linear polarizer.

If this light passes through the linear polarizer with transmission axis (TA) along the vertical or (y- direction) then the light transmitted includes components only along (TA) direction and is therefore linearly polarized in vertical or (y- direction). The horizontal component of the light is removed by absorption. Let the process to be 100% efficient.

إذا كان هذا الضوء يمر عبر المستقطب الخطي مع محور الإرسال (TA) على طول الرأسي أو (الاتجاه -y)، فإن الضوء المنقول يتضمن المكونات فقط على طول اتجاه (TA) وبالتالي يستقطب خطيا في الاتجاه الرأسي أو (الاتجاه -y). تتم إزالة العنصر الأفقي للضوء عن طريق الامتصاص. والسماح للعملية لتكون ذات كفائة 100٪.

Just as the optical element alters the polarization mode of the actual light beam an element matrix operating on a jones vector will produce the same result mathematically.

تماما كما يغير العنصر البصري وضع الاستقطاب من شعاع الضوء الفعلي عنصر مصفوفة تعمل على متجه جونز سوف تنتج نفس النتيجة رياضيا.

Let 2×2 matrix represent the polarized operate on vertically- polarized light:

نفرض 2 × 2 مصفوفة تمثل الاستقطاب تعمل على ضوء استقطاب - عموديا:

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

The algebraic equation of it:-

a (o) + b(1) = 0

c (0) + d(1)= 1

From that we have:

b = 0 , d = 1

To determine a, c let the same polarizer operate on transmitted

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

The algebraic eq. is:

a (1) + b (0) = 0

c (1) + d (0) = 0

From which we have:

a = 0, c = 0

The appropriate matrix is:

$M=\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ →linear polarizer, TA vertical

Also the matrix for a linear polarizer, TA horizontal can be obtained in the same way so we have:

كما يمكن الحصول على مصفوفة للاستقطاب الخطي، TA الأفقي في نفس الطريقة لذلك لدينا:

$M = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$ →linear polarizer, TA horizontal

If the TA of the linear polarizer inclined at 45° to (x- axis),

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

a + b = 1 .... (c)

c + d = 1 .... (d)

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} o \\ 0 \end{vmatrix}$$

a – b = 0 → a = b .... (e)

c – d = 0 → c = d .... (f)

$a = b = c = d = \frac{1}{2}$

The correct matrix is:

$M = \frac{1}{2}\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}$ → linear polarizer, TA inclined at 45°

A general matrix with TA at any angle (ø) is:

$$M=\begin{vmatrix} cos^2\,\theta & \sin\theta\cos\theta \\ \sin\theta\cos\theta & sin^2\,\theta \end{vmatrix}$$

2. Phase – retarder

2. تباطىء - الطور

This element does not remove either of the component orthogonal E-vibration but introduces a phase difference between them.

هذا العنصر لا يزيل أي من المكونات متعامد الاهتزاز - E ولكن يدخل فرق المرحلة بينهما.

If light corresponding to each vibration travels with different speeds through a retarder there will be a cumulative phase-difference (ΔQ) between the two waves as they emerge.

إذا الضوء المتماثل حتى ينقل كل الاهتزاز مع سرعات مختلفة من خلال التباطىء سيكون هناك فرق الطور التراكمي (ΔQ) بين موجتين كما تظهر.

The following Fig. Shows the effect of a retardation plate on unpolarized light in a case where the vertical component travels through the plate faster than the horizontal component. This is represented by the schematic separation of the two components on the optical axis although both waves are simultaneously present at each point along the axis.

الشكل التالي. يظهر تأثير لوحة التخلف على ضوء غيرمستقطب في حالة انتقال المركب عمودياً من خلال لوحة أسرع من المكون الأفقي. ويمثل هذا من خلال الفصل التخطيطي للمكونين على المحور البصري على الرغم من أن كلا الموجتين موجودتين في وقت واحد في كل نقطة على طول المحور.

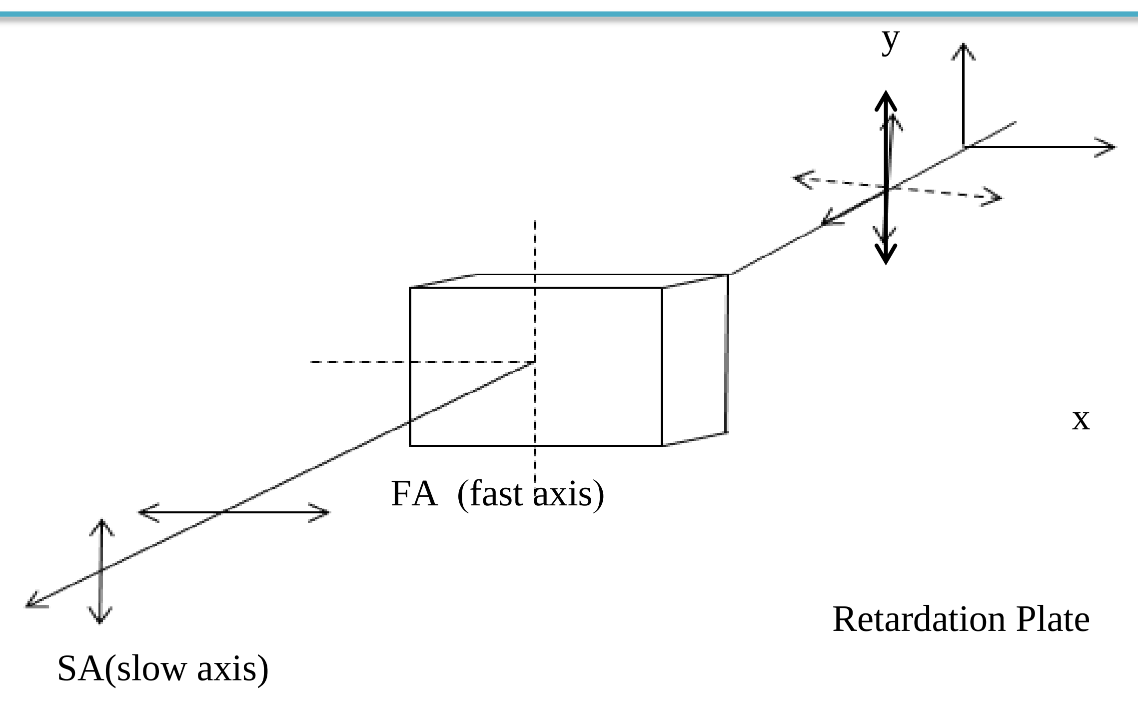


Figure 5.14: Shows the effect of a retardation plate on unpolarized light.

المركبة العمودية تسبق المركبة الافقية

We need a matrix that will transform the elements
نحن بحاجة إلى مصفوفة من شأنها أن تحول العناصر

$E_o x\ e^{i\varphi x}$ into $Eox\ e^{i(\varphi x+\varepsilon x)}$

And

$E_o y\ e^{i\varphi y}$ into $Eoy\ e^{i(\varphi y+\varepsilon y)}$

So we take the 2×2 matrix to operate on the above elements:
لذلك نحن نأخذ مصفوفة 2×2 للعمل على العناصر المذكورة أعلاه:

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_o x \ e^{i\varphi x} \\ E_o y \ e^{iQ\varphi y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E_o x \ e^{i(\varphi x + \varepsilon x)} \\ E_o y \ e^{i(\varphi y + \varepsilon y)} \end{vmatrix}$$

$\therefore$ a $E_o x \ e^{iQx}$ + b $E_o y \ e^{iQy} = \text{Eox} \ e^{i(Qx+\varepsilon x)}$

b=0

$\therefore$ a $E_o x \ e^{iQx} = \text{Eox} \ e^{i(Qx+\varepsilon x)}$

a $E_o x \ e^{iQx} = \text{Eox} \ [\ e^{i(Qx)} . e^{i(\varepsilon x)}]$

$\therefore$ a= $e^{i\varepsilon x}$

and

c $E_o x \ e^{i\varphi x}$ + d$E_o y \ e^{i\varphi y} = E_o y \ e^{i(\varphi y+\varepsilon y)}$

c $E_o x \ e^{i\varphi x}$ = zero

d$E_o y \ e^{i\varphi y} = E_o y \ e^{i(\varphi y+\varepsilon y)}$

d$E_o y \ e^{i\varphi y} = E_o y [\ e^{i\varphi y} .\ e^{i\varepsilon y}]$

d = $e^{i\varepsilon y}$

c = 0

so we have :

$$\begin{vmatrix} e^{i\varepsilon x} & 0 \\ 0 & e^{i\varepsilon y} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_o x \ e^{i\varphi x} \\ E_o y \ e^{i\varphi y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} E_o x \ e^{i(\varphi x+\varepsilon x)} \\ E_o y \ e^{i(\varphi y+\varepsilon y)} \end{vmatrix}$$

The general form of a matrix that represents a phase retarder is:-

M= $\begin{vmatrix} e^{i\varepsilon x} & 0 \\ o & e^{i\varepsilon y} \end{vmatrix}$ →phase retarder

Where εx and εy the advance in phase of Ex and Ey component of incident light and they may be negative.

حيث εx و εy التقدم في الطور لـ (Ex، Ey) لمركبات الضوء الداخل وأنها قد تكون سالبة.

5.9 Special cases

9.5 حالات خاصة

1. If the phase difference is ($\Delta\emptyset=90^o$) then the retarder plate called (Quarter wave plate) QWP

1. إذا كان فرق الطور هو ($\Delta\emptyset = 90^o$)، اذاً يسمى اللوح المتباطىء (ربع لوح الموجة)

a) * when $\varepsilon_y > \varepsilon_x \rightarrow \varepsilon_y - \varepsilon_x = \frac{\pi}{2}$

$\varepsilon_y = \frac{\pi}{4}$, $\varepsilon_x = -\frac{\pi}{4}$

for which we have :-

$\varepsilon_y > \varepsilon_x \rightarrow$ FA vertical

This particular choose leads to the common form of the matrix due to its symmetrical form.

هذا الاختيار على وجه التحديد يؤدي إلى الشكل المشترك للمصفوفة بسبب شكله المتماثل.

$$M = \begin{vmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ o & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{vmatrix} = e^{-i\frac{\pi}{4}} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{vmatrix} \rightarrow \text{QWP, FA vertical}$$

Where:

$$ie^{-i\frac{\pi}{4}} = i\left(\cos\frac{\pi}{4} - i\sin\frac{\pi}{4}\right)$$

$$= i\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - i\,\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$= i\,\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} + i\,\frac{1}{\sqrt{2}} = e^{i\frac{\pi}{4}}$$

$$\therefore\ ie^{-i\frac{\pi}{4}} = e^{i\frac{\pi}{4}}$$

b. * similarity, when $\varepsilon_x > \varepsilon_y$ →FA horizontal

$$\Delta_\varepsilon = \frac{\pi}{2} \rightarrow \varepsilon_x - \varepsilon_y = \frac{\pi}{2}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\pi}{4}\ ,\ \varepsilon_y = -\frac{\pi}{4}$$

$$M = \begin{vmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{vmatrix} = e^{i\frac{\pi}{4}} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{vmatrix} \rightarrow \text{QWP , FA horizontal}$$

Where:-

$$-ie^{-i\frac{\pi}{4}} = i\left(\cos\frac{\pi}{4} + i\sin\frac{\pi}{4}\right)$$

$$= i\left(\frac{1}{\sqrt{2}} + i\ \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$= -i\ \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\ = \frac{1}{\sqrt{2}} - i\ \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= \cos\frac{\pi}{4} - i\sin\frac{\pi}{4}$$

$$= e^{i\frac{\pi}{4}}$$

$$\therefore\ -ie^{i\frac{\pi}{4}} = e^{-i\frac{\pi}{4}}$$

Note ملحوظة

Other choice an infinite number of them are possible, so that jones matrices, like jones vector are "not unique" .

اختيار اخر وعدد لانهائي من الاحتمالات، لمصفوفات جونز، مثل متجه جونز وهي "ليست فريدة من نوعها"

2. if $(\Delta_x = \pi)$ then the phase retarder plate called half wave plate (HWP)

2. إذا كان $(\Delta x = \pi)$ فأن لوحة مرتد الطور تسمى لوحة موجة النصف (HWP)

a) When $\varepsilon_y > \varepsilon_x \Rightarrow$FA vertical

$$\therefore \varepsilon_y - \varepsilon_x = \pi \rightarrow \varepsilon_y = \frac{\pi}{2}, \varepsilon_x = -\frac{\pi}{2}$$

Then the matrix form will be:

$$M = \begin{vmatrix} e^{-i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{2}} \end{vmatrix} = e^{-i\frac{\pi}{2}} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} \rightarrow \text{(HWP, FA vertical)}$$

Where:

$$-1e^{i\frac{\pi}{2}} = -1\left(\cos\frac{\pi}{2} + i\sin\frac{\pi}{2}\right) =$$

$$= -(0 + i) = 0 - i$$

$$= \cos\frac{\pi}{2} - i\sin\frac{\pi}{2} = e^{-i\frac{\pi}{2}}$$

$$\therefore e^{i\frac{\pi}{2}} = e^{-i\frac{\pi}{2}}$$

b) When $\varepsilon x > \varepsilon y \rightarrow FA\ horizontal$

$$\therefore \varepsilon_x - \varepsilon_y = \pi \quad \rightarrow \quad \varepsilon_x = \frac{\pi}{2}\ , \quad \varepsilon_y = -\frac{\pi}{2}$$

Then the matrix form will be:

$$M = \begin{vmatrix} e^{i\frac{\pi}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{2}} \end{vmatrix} = e^{i\frac{\pi}{2}} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} \rightarrow \text{HWP, horizontal}$$

The elements of the matrices are identical, since advancement of phase by (π) is physically equivalent to retardation by (π).

عناصر المصفوفات متطابقة، لأن تقدم المرحلة بـ (π) يعادل فيزيائياً التأخر من قبل (π).

The only difference is in the refactor that modify the phases of all elements of jones vector.

الفرق الوحيد في ايعادة العامل هو تعديل مراحل جميع عناصر متجه جونز.

3. Rotate

3. تدوير

This element transmits (rotate) linearly polarized light whose direction and vibration rotated counter clockwise or clockwise by an angle (ø).

ينقل هذا العنصر (او تدوير) الضوء المستقطب خطيا الذي اتجاه وتدويرالاهتزاز عكس عقارب الساعة أو في اتجاه عقارب الساعة بزاوية (ø).

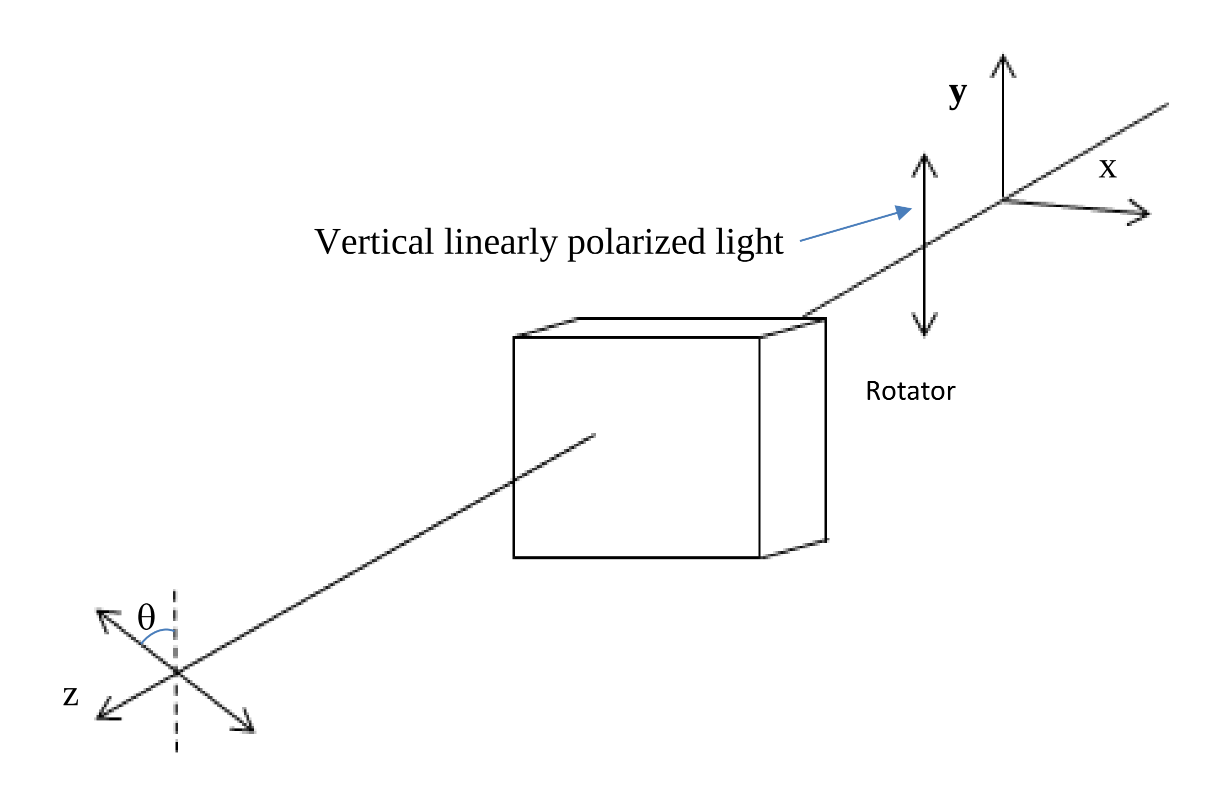


Figure 5.14: explain (rotate) linearly polarized light.

The requirement for a rotator of angle (β) is that on E-vector oscillating linearly at angle (ø) be converted to one that oscillates linearly at angle (ø+β) thus the matrix element satisfy the form:
والشرط اللازم لتدوير الزاوية (β) هو أن يتجه الموجه E المتذبذب خطيا عند الزاوية (ø) إلى اتجاه يتذبذب خطيا عند الزاوية (ø + β)، وبالتالي يستوفي عنصر المصفوفة النموذجي:

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos ø \\ \sin ø \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(ø + \beta) \\ \sin(ø + \beta) \end{vmatrix}$$

$$a \cos ø + b \sin ø = \cos(ø + \beta)$$

$$c \cos ø + d \sin ø = s\,in(ø + \beta)$$

From the trigonometric identities for the since & cosine of the sum of two angles:

$$\cos(ø + \beta) = \cos ø \cos \beta - sinøcos\beta$$

$$\sin(ø + \beta) = \sin ø \cos \beta + \cos ø \sin \beta$$

$$a \cos ø + b \sin ø = \cos ø \cos \beta - \sin ø \sin \beta$$

a = $\cos \beta$

b = -$\sin \beta$

$$c \cos ø + d \sin ø = \sin ø \cos \beta - \cos ø \sin \beta$$

c = $\sin \beta$

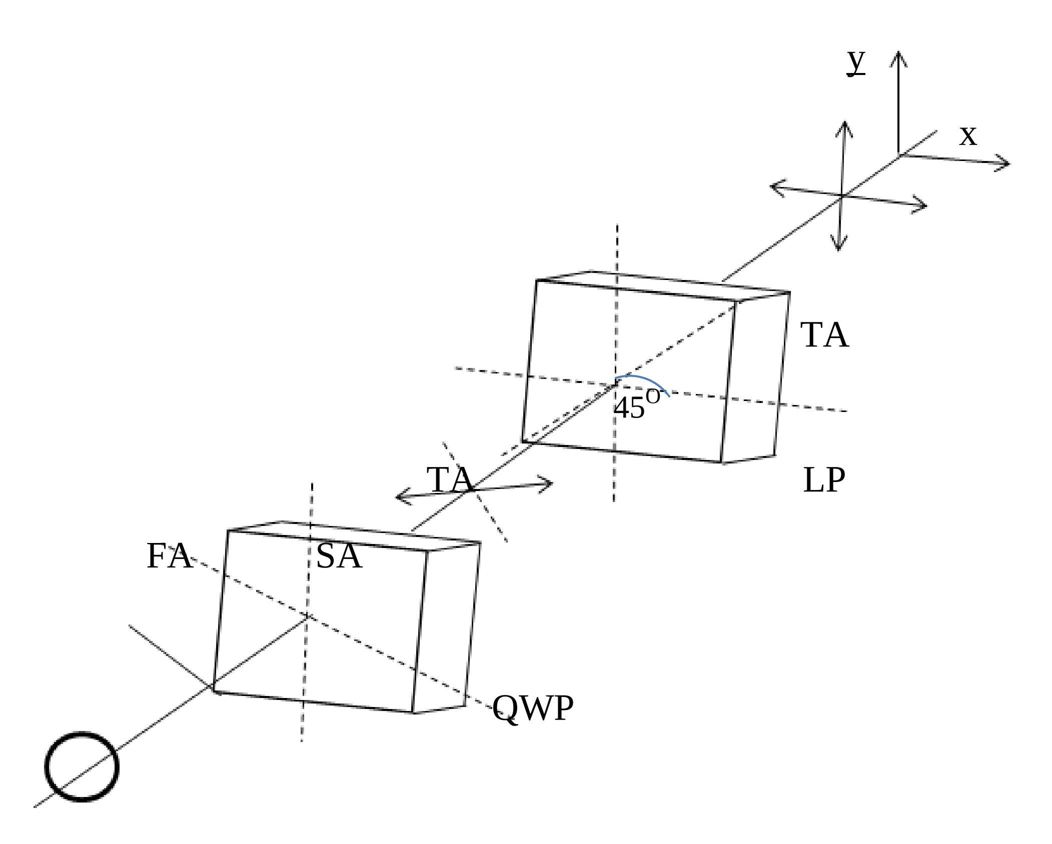
d = $\cos \beta$

So the matrix will be:

M = $\begin{vmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{vmatrix}$ → rotator through angle

Example 5.2 :

A linear polarizer produce light vibrating at an angle of 45°, which is then transmitted by QWP that divided the light equally between fast and slow axis. If the fast axis was on the horizontal what is the polarization state.



Solution:

We take the QWP matrix to operate on the jones vector for the linearly polarized light which inclined by an angle (+45°)

$$e^{i\frac{\pi}{4}}\begin{vmatrix}1 & 0\\ 0 & -i\end{vmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{vmatrix}1\\ 1\end{vmatrix}=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)e^{i\frac{\pi}{4}}\begin{vmatrix}1\\ -i\end{vmatrix}$$

Then the result is (right – circularly polarized) light ($\begin{vmatrix}1\\ -i\end{vmatrix}$) with amplitude $\frac{1}{\sqrt{2}}$ time, the amplitude of the original linearly polarized light.

Chapter 6

Maxwell’s Equations

6.1 Maxwell’s Equations

1.6 معادلات ماكسويل

To analyze the optical waveguide we need to consider Maxwell’s Equations that give the relationships between the electric and magnetic fields.

لتحليل الدليل الموجي البصري نحن بحاجة إلى النظر في معادلات ماكسويل التي تعطي العلاقات بين المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

Assuming a linear, isotropic dielectric material having no currents and free charges, these equations take the form:

وبافتراض وجود مادة عازلة خطيبة ومتماثلة لا توجد لها تيارات وشحنة حرة، تأخذ هذه المعادلات الشكل التالي:

$$\nabla\times \mathbf{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{……….} \quad (6.1)$$

$$\nabla\times \mathbf{H} = \frac{\partial D}{\partial t} \quad \text{……….} \quad (6.2)$$

$$\nabla.\mathbf{D} = 0 \quad \text{……….} \quad (6.3)$$

$$\nabla.\mathbf{B} = 0 \quad \text{……….} \quad (6.4)$$

Where,

E and H are electric and magnetic field vectors.

D and B are corresponding flux densities.

E و **H** هي متجهات المجال الكهربائي والمغناطيسي على التوالي.

D و **B** هي كثافة التدفق المتماثل(المتطابق).

Where

$\mathbf{D} = \epsilon\, \mathbf{E}$

$\mathbf{B} = \boldsymbol{\mu}\, \mathbf{H}$

. the parameter ϵ is the permittivity (or dielectric constant) and **μ** is permeability of the medium.

A relationship defining the wave phenomena of the electromagnetic fields can be derived from Maxwell's Equations.

Taking the curl of Eq. (6.1) and making use of Eq. (6.2) yields:

حيث **D = ϵ E** و **B = μ H**. اعدادات (المقياس) **ϵ** هي السماحية (أو ثابت العزل) و **μ** هي نفاذية الوسيط.

ويمكن اشتقاق علاقة تحدد ظاهرة الموجة للمجالات الكهرومغناطيسية من معادلات ماكسويل. أخذ التفاف (curl) من المعادلة (1.6) والاستفادة من المعادلة (2.6) يكون الناتج:

$$\nabla\times(\nabla\times \mathbf{E}) = -\mu\frac{\partial}{\partial t}(\nabla\times H) = -\epsilon\,\mu\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \qquad \text{..........} \ (6.5)$$

Using the vector identity (see App. B)

$$\nabla\times(\nabla\times E) = \nabla(\nabla .\, E) - \nabla^2 E \qquad \text{..........} \ (6.6)$$

And using Eq. (6.3) (that is, $\nabla .\, E = 0$), Eq. (6.5) becomes

$$\nabla^2 E = \epsilon\,\mu\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \qquad \text{..........} \ (6.7)$$

Similarly, be taking the curl of Eq. (6.2), it can be shown that

$$\nabla^2 H = \epsilon\,\mu\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \qquad \text{..........} \ (6.8)$$

Equations (6.7) and (6.8) are the standard wave equations

Example 6.1: deriving the following equation:

$$\nabla^2 E = \epsilon\, \mu\, \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Solution:

Of Maxwell's Equations:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times (\nabla \times E) = -\frac{\partial (\nabla \times B)}{\partial t}$$

$$\because \quad B = \mu\, H$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times E) = -\mu \frac{\partial (\nabla \times H)}{\partial t}$$

$$\because \quad \nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times E) = -\mu \frac{\partial^2 D}{\partial t^2}$$

$$\because \quad D = \epsilon\, E$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times E) = -\epsilon\, \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$\nabla \times (\nabla \times E) = \nabla\, (\nabla . E) - \nabla^2 E$$

$$\nabla^2 E = \epsilon\, \mu\, \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Example 6.2: deriving the following equation:

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2}$$

Solution:

Of Maxwell's Equations:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \frac{\partial (\nabla X D)}{\partial t}$$

$$\because \quad \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \epsilon \frac{\partial (\nabla X \mathbf{E})}{\partial t}$$

$$\because \quad \nabla \times \mathrm{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = -\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$

$$\because \quad \mathrm{B} = \mu \mathrm{H}$$

$$\therefore \quad \nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = -\epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2}$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = \nabla (\nabla . \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H}$$

$$\nabla . \mathbf{H} = 0$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{H}) = -\nabla^2 \mathbf{H}$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2}$$

6.2 Wave Equations:

2.6 معادلات الموجه:

Consider electromagnetic waves propagating along a cylindrical fiber. For this fiber a cylindrical coordinate system (r, ϕ, z) is defined with the z axis lying along the axis of the waveguide. if the electromagnetic waves are to propagate along the z axis, they will have afunctional dependence of the form

النظر في الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر على طول ألليف الأسطواني. لهذا الألياف يتم تحديد نظام إحداثيات الأسطوانية (r, ϕ, z) مع محور z الكائن على طول محور الدليل الموجي. إذا كان سيتم نشر الموجات الكهرومغناطيسية على طول المحور z، سيكون لديها الاعتماد على دالة من النموذج

6.3 Wave Propagation

3.6 انتشار الموجات

In this section we consider propagation of light in step-index fibers by using Maxwell's equations for electromagnetic waves

في هذا القسم نعتبر نشر الضوء في الألياف مؤشر خطوة باستخدام معادلات ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية.

- The relation between flux densities and filed vectors:

• العلاقة بين كثافة التدفق ومتجهات المجال:

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E}+\mathbf{P} \quad \text{..........} \quad (6.9)$$

$$\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H}+\mathbf{M} \quad \text{..........} \quad (6.10)$$

Where,

ε_0 is vacuum permittivity.	ε_0 هو سماحية الفراغ.
μ_0 is vacuum permeability.	μ_0 هو نفاذية الفراغ.
P is induced electric polarization.	**P** هو الاستقطاب الكهربائي المستحث.
M is induced magnetic polarization (M = 0), because of the nonmagnetic nature of silica glass.	**M** هو الاستقطاب المغناطيسي المستحث (M = 0)، بسبب الطبيعة غير المغناطيسية لزجاج السيليكا.

Evaluation of the electric polarization P requires a microscopic quantum-mechanical approach.

ويتطلب تقييم الاستقطاب الكهربائي P نهجاً ميكانيكياً كمياً مجهرياً.

Although such an approach is essential when the optical frequency is near a medium resonance, a phenomenological relation between P and E can be used far from medium resonances.

على الرغم من أن مثل هذا النهج ضروري عندما يكون التردد البصري بالقرب من رنين الوسط، يمكن استخدام علاقة ظاهرية بين P و E بعيدا عن رنين الوسط.

This is the case for optical fibers in the wavelength region 0.5–2 μm, a range that covers the low-loss region of optical fibers that is of interest for fiber-optic communication systems. In general, the relation between P and E can be nonlinear.

هذا هو الحال بالنسبة للألياف البصرية في منطقة الطول الموجي 0.5-2 ميكرون، وهو نطاق يغطي المنطقة منخفضة الخسارة من الألياف البصرية التي هي ذات أهمية لأنظمة اتصالات الألياف البصرية.
بشكل عام، يمكن أن تكون العلاقة بين P و E غير خطية.

Although the nonlinear effects in optical fibers are of considerable interest, and are covered in Section 6.2, they can be ignored in a discussion of fiber modes. P is then related to E by the relation:

وعلى الرغم من أن التأثيرات غير الخطية في الألياف البصرية ذات أهمية كبيرة، وهي مشمولة في القسم 2.6، يمكن تجاهلها في مناقشة أنماط الألياف. ثم يرتبط P مع E بالعلاقة:

• P and E are related by:

• P و E مرتبطان بما يلي:

$$\mathbf{P}(\mathbf{r}, t) = \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{\infty} \chi\,(\mathbf{r}, t - t')\,\mathbf{E}(\mathbf{r}, t')\, dt' \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6.11)$$

X is linear susceptibility.

X هو القابلية الخطية.

Linear susceptibility is, in general, a second-rank tensor but reduces to a scalar for an isotropic medium such as silica glass.

القابلية الخطية هي، بشكل عام، ممتدة من الدرجة الثانية ولكنها تقلل إلى التدرج لوسط متماثل مثل زجاج السيليكا.

Optical fibers become slightly

تصبح الألياف الضوئية قليلة الانكسار بسبب

birefringent because of unintentional variations in the core shape or in local strain.

الاختلافات غير المتعمدة في الشكل الأساسي (اللب) أو في السلالة الموضعية.

However, it includes the delayed nature of the temporal response, a feature that has important implications for optical fiber communications through chromatic dispersion.

ومع ذلك، فإنه يشمل الطبيعة المتأخرة للاستجابة الزمنية، وهي ميزة لها آثار هامة على الاتصالات الألياف البصرية من خلال التشتت اللوني.

Where,

- **Wave equation:**

- **معادلة الموجة:**

$$\nabla \times \nabla \times E = \frac{-1}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial E^2} - \mu_0 \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad \text{.......... (6.12)}$$

Where the speed of light in vacuum is defined as usual by $\boldsymbol{c} = (\boldsymbol{\mu_0\ \varepsilon_0})^{-1/2}$. By introducing the Fourier transform of $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ through the relation

حيث تعرف سرعة الضوء في الفراغ كالمعتاد بواسطة $\boldsymbol{c} = (\boldsymbol{\mu_o\ \varepsilon_o})^{-1/2}$. من خلال إدخال تحويل فورييه من $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ من خلال العلاقة

$$\tilde{E}(r,\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E(r,t)e^{i\omega t}\, dt \quad \text{........ (6.13)}$$

as well as a similar relation for P(r, t), and by using Eq. (6.11), Eq. (6.12) can be written in the frequency domain as:

وكذلك علاقة مماثلة لـP(r, t)، وباستخدام معادلة (11.6)، ومعادلة (12.6) يمكن أن تكون مكتوبة في مجال التردد كما يلي:

$$\nabla\times\nabla\times \bar{\mathbf{E}} = -\varepsilon\,(\mathbf{r},\omega)(\omega^2/c^2)\,\grave{\mathrm{E}} \quad ………. \quad (6.14)$$

Where the frequency-dependent *dielectric constant* is defined as

$$\varepsilon\,(\mathbf{r},\omega) = 1+\tilde{\chi}\,(\mathbf{r},\omega) \quad ………. \quad (6.15)$$

and $\tilde{\chi}$ (r,ω) is the Fourier transform of χ (r, t). In general, ε (r,ω) is complex. Its real and imaginary parts are related to the refractive index n and the absorption coefficient α by the definition

و $\tilde{\chi}$ (**r**,ω) هو تحويل فورييه من(**r**, t) χ. بشكل عام، ε (**r**,ω) معقد. وتتصل أجزاءها الحقيقية والخيالية بمعامل الانكسار n ومعامل الامتصاص α من خلال التعريف

$$\varepsilon = (n+i\alpha c/2\omega)^2 \quad ………. \quad (6.16)$$

n is refractive index.	n هو معامل الانكسار.
α is absorption coefficient.	α هو معامل الامتصاص.

By using Eqs. (6.15) and (6.16), *n* and α are related to χ as

$$n = (1+R_e\,\chi)^{1/2} \quad ………. \quad (6.17)$$

$$\alpha = (\omega/nc)\,I_m\chi \quad ………. \quad (6.18)$$

Where $\mathbf{R_e}$ and $\mathbf{I_m}$ stand for the real and imaginary parts, respectively. Both *n* and are frequency dependent.
The frequency dependence of *n* is referred to as *chromatic dispersion* or simply as material dispersion.

حيث $\mathbf{R_e}$ و $\mathbf{I_m}$ هي تحمل للأجزاء الحقيقية والخيالية، على التوالي. و n تعتمد على التردد.

ويشار إلى اعتماد التردد n على التشتت اللوني أو ببساطة تشتت المادة.

Two further simplifications can be made before solving Eq. (6.14). First, ε can be taken to be real and replaced by n_2 because of low optical losses in silica fibers.
Second, since $n(\mathbf{r}, \omega)$ is independent of the spatial coordinate **r** in both the core and the cladding of a step-index fiber, one can use the identity

ويمكن إجراء تبسيطين آخرين قبل حل المعادلة (14.6).
أولا، ε يمكن اتخاذها لتكون حقيقية واستبدالها n2 بسبب انخفاض الخسائر البصرية في ألياف السيليكا.
ثانيا، بما أن $n(\mathbf{r}, \omega)$ مستقلة عن الإحداثيات المكانية r في كل من اللب وكسوة ألياف لذلك مؤشر الخطوة، يمكن أن نستخدم المتطابقة

$$\nabla\times\nabla\times \grave{E} \equiv \nabla(\nabla\cdot \grave{E})-\nabla^2\grave{E} = -\nabla^2\grave{E} \qquad \text{..........} \qquad (6.19)$$

Where we used Eq. (2.2.3) and the relation $\tilde{D} = \varepsilon \grave{E}$ to set $\nabla\cdot \grave{E} = 0$.

These simplifications made even for graded-index fibers. Equation (6.19) then holds approximately as long as the index changes occur over a length scale much longer than the wavelength. By using Eq. (6.19) in Eq. (6.14), we obtain

هذه التبسيط جعلت حتى بالنسبة للألياف مؤشر متدرج. ثم تحمل المعادلة (19.6) تقريبا ما دامت التغيرات في المؤشر تحدث على مدى أطول بكثير من طول الموجة. باستخدام المعادلة (19.6) في المعادلة (14.6)، نحصل عليها

$$\nabla^2\grave{E} + n^2(\omega)k_0^2\grave{E} = 0 \qquad \text{..........} \qquad (6.20)$$

Where the free-space wave number $k0$ is defined as

$$k_0 = \omega/c = 2\pi/\lambda \qquad \text{..........} \qquad (6.21)$$

And ω is the vacuum wavelength of the optical field oscillating at the frequency ω.
Equation (6.20) is solved next to obtain the optical modes of step-index fibers.

و ω الطول الموجي الفراغي للمجال البصري يتأرجح عند التردد ω.

يتم حل المعادلة (20.6) بجانب الحصول على وسائط بصرية من الألياف مؤشر خطوة.

6.4 Fiber Modes

4.6 انماط الألياف

Optical mode: An optical mode is a specific solution of the wave equation that satisfies boundary conditions.

النمط البصري: الوضع البصري هو حل معين لمعادلة الموجة التي تستوفي الشروط الحدودية.

There are three types of fiber modes.

هناك ثلاثة أنواع من وسائط الألياف.

a) Guided modes

b) Leaky modes

c) Radiation modes

أ) انماط الموجه

ب) انماط الراشح

ج) أنماط الإشعاع

• For fiber optic communication system guided mode is sued for signal transmission.

•نظام الاتصالات للألياف البصرية هو نمط الموجهة لنقل الإشارات.

Considering a step index fiber with core radius 'a'.

نعتبر الياف مؤشر الخطوة نصف قطرها هو (a).

The cylindrical co-ordinates ρ, ϕ and can be used to represent boundary conditions.

ويمكن استخدام الإحداثيات الأسطوانية ρ , ϕ لتمثيل الشروط الحدودية.

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial \rho^2}+\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial E_z}{\partial \rho}+\frac{1}{\rho^2}\cdot\frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2}+\frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2}+n^2k_0^2E_z=0 \quad (6.22)$$

• The refractive index 'n' has values

• معامل الانكسار 'n' له قيم

$$n=\begin{cases} n_1; & \rho\le a \\ n_2; & \rho > a \end{cases} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6.23)$$

• The general solutions for boundary condition of optical field under guided mode is infinite at $\rho = 0$ and decay to zero at $\rho = 0$. Using Maxwell's equation in the core region.

• الحلول العامة للحالة الحدودية للمجال البصري تحت نمط الموجه هي لانهائية عند $\rho = 0$ وتنحل إلى الصفر عند $\rho = 0$. باستخدام معادلة ماكسويل في منطقة اللب.

$$E_\rho = \frac{i}{p^2}\left(\beta \frac{\partial E_z}{\partial \rho} + \mu_0 \frac{\omega}{\rho} . \frac{\partial H_z}{\partial \phi}\right) \quad \text{.......... (6.24)}$$

$$E_\phi = \frac{i}{p^2}\left(\frac{\beta}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} - \mu_0 \omega . \frac{\partial H_z}{\partial \rho}\right) \quad \text{.......... (6.25)}$$

$$H_\rho = \frac{i}{p^2}\left(\beta \frac{\partial E_z}{\partial \rho} + \varepsilon_0 n^2 \frac{\omega}{\rho} \frac{\partial H_z}{\partial \rho}\right) \quad \text{.......... (6.26)}$$

$$H_\phi = \frac{i}{p^2}\left(\frac{\beta}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} + \varepsilon_0 n^2 \omega \frac{\partial H_z}{\partial \rho}\right) \quad \text{.......... (6.27)}$$

• The **cut-off condition** is defined as –

• تعرف حالة القطع بأنها -

$$V = k_0 a \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad \text{.......... (6.28)}$$

$$V = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) a \, n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{.......... (6.29)}$$

It is also called as **normalized frequency**.

ويسمى أيضا باسم التردد الطبيعي.

6.5 Graded Index Fiber Structure	**5.6 تركيب مؤشر الليف المتدرج**
• The Refractive index of graded index fiber decreases continuously towards its radius from the fiber axis and that for cladding is constant.	• ينخفض مؤشر الانكسار لألياف مؤشر المتدرج بشكل مستمر نحو نصف قطرها من محور الألياف وتكون الكسوة ثابتة.
• The refractive index variation in the core is usually designed by using power law relationship.	• يتم عادة تصميم تباين معامل الانكسار في اللب باستخدام علاقة قانون الطاقة.

$$n(r) = \begin{cases} n_1\left[1 - 2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}\right]^{\frac{1}{2}}, & when\ 0 \leq r \leq a \\ n_1(1-2\Delta)^{\frac{1}{2}} \approx n_1(1-\Delta) = n_2, & when\ r \geq a \end{cases} \quad \dots (6.30)$$

Where,

r : Radial distance from fiber axis	r : مسافة نصف القطر من محور الألياف
a : Core radius	a : نصف قطر اللب
n_1 : Refractive index core	n_1 : معامل انكسار اللب
n_2 : Refractive index of cladding	n_2 : معامل الانكسار للكسوة
α : The shape of the index profile	α : شكل لمحة المؤشر
• For graded index fiber, the index difference Δ is given by,	• بالنسبة لألياف المؤشر المتدرجة، يعطى اختلاف المؤشر Δ بواسطة،

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad \dots\dots\dots\ (6.31)$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \dots\dots\dots\ (6.32)$$

• In graded index fiber the incident light will propagate when local numerical aperture at distance r from axis, NA is axial numerical aperture NA(0). The local numerical aperture is given as,

• في ألياف مؤشر المتدرج الضوء الساقط سوف ينتشر عندما الفتحة العددية الموضعية على مسافة (r) من المحور، (NA) هي الفتحة العددية للمحور NA(0). وتعطى الفتحة العددية المحلية كما،

$$NA(r) = \begin{cases} [n^2(r) - n_2^2]^{\frac{1}{2}} \approx NA(0)\sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}}, & for\ r \leq a \\ 0, & for\ r > a \end{cases} \quad (6.33)$$

• The axial numerical aperture NA(0) is given as,

• يتم إعطاء الفتحة العددية المحورية NA(0) كما،

$$NA(0) = [n^2(0) - n_2^2]^{1/2} \quad \text{..........} (6.34)$$

$$NA(0) = [n_1^2 - n_2^2]^{1/2} \quad \text{..........} (6.35)$$

$$NA(0) = n_1\sqrt{2\Delta} \approx n_1(2\Delta)^{1/2} \quad \text{..........} (6.36)$$

Hence Na for graded index decreases to zero as it moves from fiber axis to core-cladding boundary.

وبالتالي (Na) ينخفض لمؤشر المتدرج إلى الصفر كلما يتحرك من محور الألياف إلى الحدود الأساسية الكسوة.

• The variation of NA for different values of α is shown in Fig. 6.1.

• يبين الشكل 6 .1 تباين النسبة (NA) للقيم المختلفة للـ(α).

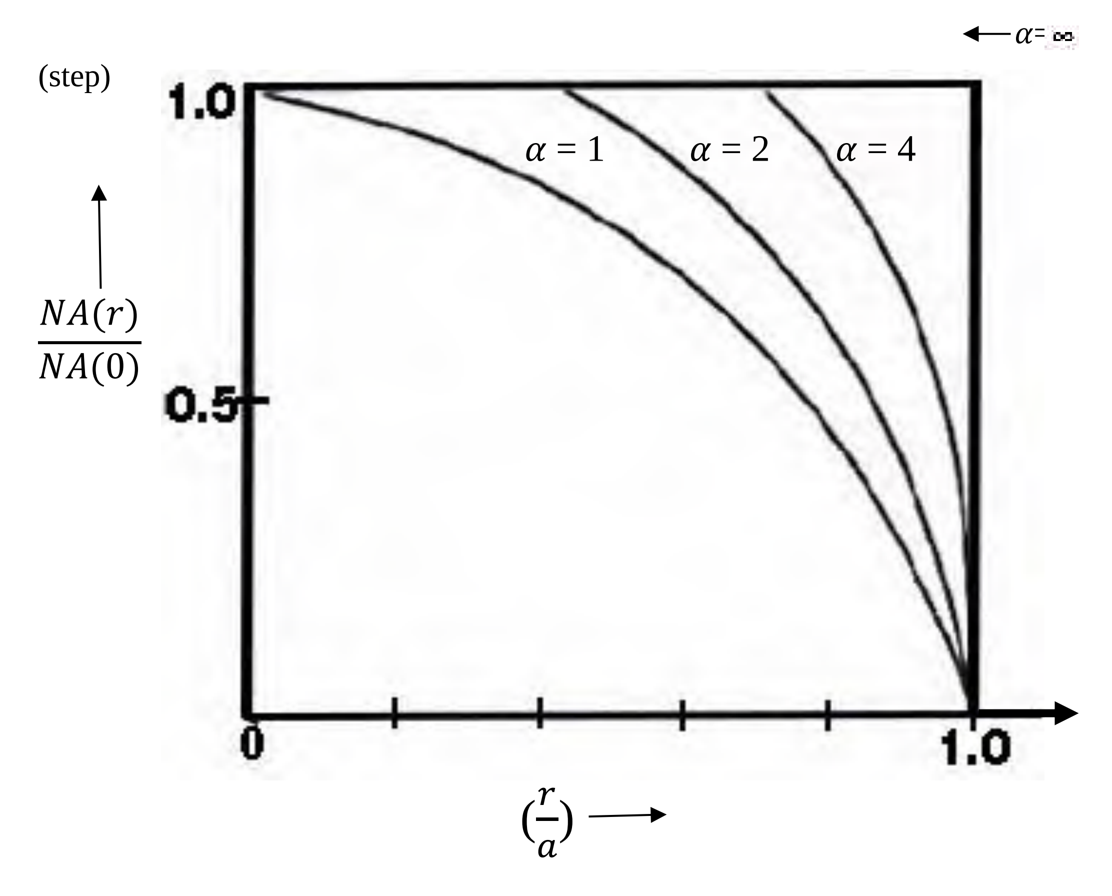


Fig.6.1: Variation of NA for Different α

- The number of modes for graded index fiber in given as,
- عدد أنماط الياف مؤشر المتدرج تعطى بالمعادلة التالية ،

$$M = \frac{\alpha}{\alpha + 2} a^2 k^2 n_1^2 \Delta \qquad \text{.......... (6.37)}$$

6.6 Single Mode Fibers

6.6 الألياف ذات النمط المفرد

• Propagation in single mode fiber is advantageous because signal dispersion due to delay differences amongst various modes in multimode is avoided. Multimode step index fibers cannot be used for single mode propagation due to difficulties in maintaining single mode operation.

• الانتشار في الألياف ذات النمط الأحادي مفيد لأن تشتت الإشارة بسبب اختلافات التأخير بين أنماط مختلفة في متعدد الانماط يتم تجنبه. لا يمكن استخدام الألياف مؤشر خطوة المتعدد الانماط لانتشار وضع واحد بسبب الصعوبات في الحفاظ على عملية وضع واحد.

Therefore for the transmission of single mode the fiber is designed to allow propagation in one mode only, while all other modes are attenuated by leakage or absorption.

ولذلك، فإن من أجل إرسال نمط وحيد في الالياف مصممة للسماح بالانتشار في نمط واحد فقط، في حين أن جميع الأنماط الأخرى موهنة بسبب التسرب أو الامتصاص.

• For single mode operation, only fundamental LP01 mode many exist. The single mode propagation of LP01 mode in step index fibers is possible over the range.

• فيما يتعلق بعملية النمط الواحد، الأساسية فقط (LP01) ووجود العديد من الانماط. وانتشار نمط واحد (LP01) في ألياف مؤشر خطوة ممكنة على المدى.

$$0 \leq V < 2405$$

•The normalized frequency for the fiber can be adjusted within the range by reducing core radius and refractive index difference < 1%. In order to obtain single mode operation with maximum V number (2.4).

• يمكن تعديل التردد المعياري للألياف داخل النطاق عن طريق تقليل نصف قطر اللب وفرق معامل الانكسار يكون <1٪. من أجل الحصول على عملية نمط واحد مع الحد الأقصى لعدد (V = 2.4).

The single mode fiber must have smaller core diameter than the equivalent multimode step index fiber. But smaller core diameter has problem of launching light into the fiber, jointing fibers and reduced relative index difference.

يجب أن تكون الألياف نمط واحد ذات قطر اللب اصغر من الألياف مؤشر خطوة متعددة الانماط. ولكن تصغير قطر الأساسية لدينا مشكلة هي إطلاق الضوء داخل الألياف وربط الالياف وانخفاض فرق المؤشر النسبي

• Graded index fibers can also be sued for single mode operation with some special fiber design. The cut-off value of normalized frequency Vc in single mode operation for a graded index fiber is given by,

• يمكن أيضا التحكم في عمل ألياف مؤشر متدرج لعملية نمط واحد مع بعض تصميم الألياف الخاص. وتعطى قيمة القطع للتردد المعياري في عملية النمط الأحادي لألياف مؤشر متدرجة،

$$V_c = 2.405\left(1 + \frac{2}{\propto}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6.39)$$

للتذكير:

ρ = charge density (row)
σ = conductivity in medium (Cecum)
μ = Permeability of a particle in medium (Meu)
$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ N.S²/C² (Permeability of a vacuum)
$k_M = \frac{\mu}{\mu_o}$ = relative Permeability
ε = permittivity of a particle in medium (epcelon)
$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m (permittivity of the free space or vacuum)
$k_E = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$ = relative permittivity
Taking the curl of

Example 6.3: A multimode step index optical fiber with relative refractive index difference 1.5% and core refractive index 1.48 is to be used for single mode operation. If the operating wavelength is 0.85μm calculate the maximum core diameter.

Solution: Given:

$$n_1 = 1.48$$

$$\Delta = 1.5\ \% \ = 0.015$$

$$\lambda = 0.85\ \mu m = 0.85 \times 10^{-6}\ m$$

Maximum V value for a fiber which gives single mode operations is 2.4.

Normalized frequency (V number) and core diameter is related by expression,

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a\ (NA)$$

$$\boxed{V = \frac{2\pi}{\lambda} a\ n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \frac{V\lambda}{2\pi\ n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \frac{2.4 \times (0.85 \times 10^{-6})}{2\pi \times (1.48) \times (0.03)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \mathbf{1.3\ \mu m}$$ **... Ans.**

Maximum core diameter for single mode operation is 2.6 μm.

Example 6.4: A GRIN fiber with parabolic refractive index profile core has a refractive index at the core axis of 1.5 and relative index difference at 1%. Calculate maximum possible core diameter that allows single mode operations at $\lambda = 1.3$ µm.

Solution: Given:

$$n_1 = 1.5$$

$$\Delta = 1\ \% = 0.01$$

$$\lambda = 1.3\ \mu m = 1.3 \times 10^{-6} m$$

for a GRIN

Maximum value of normalized frequency for single mode operation is given by,

$$V = 2.4\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 2.4\left(1 + \frac{2}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 2.4\sqrt{2}$$

Maximum core radius is given by expression,

$$a = \frac{V\lambda}{2\pi\, n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \frac{24\sqrt{2} \times 1.3 \times 10^{-6}}{2\pi \times 1.5 \times (0.02)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = 3.3\ \mu m$$ **… Ans.**

∴8 Maximum core diameters which allow single mode operation are 6.6 µm.

Chapter 7

Optical Transmitters

7.1 Optical Transmitters

1.7أجهزة الإرسال البصرية

The role of the optical transmitter is to convert an electrical input signal into the corresponding optical signal and then launch it into the optical fiber serving as a communication channel.

ويتمثل دور المرسل الضوئي في تحويل إشارة الدخل الكهربائية إلى الإشارة البصرية المقابلة ومن ثم إطلاقها في الألياف الضوئية التي تعمل كقناة اتصال.

The major component of optical transmitters is an optical source.

والعنصر الرئيسي للمرسلات الضوئية هو مصدر بصري.

Fiber-optic communication systems often use semiconductor optical sources such as light-emitting diodes (LEDs) and semiconductor lasers because of several inherent advantages offered by them.

وغالبا ما تستخدم نظم الاتصالات الألياف الضوئية مصادر أشباه الموصلات البصرية مثل الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) وليزرات أشباه الموصلات بسبب العديد من المزايا الكامنة التي تقدمها لهم.

Some of these advantages are compact size, high efficiency, good reliability, right wavelength range, small emissive area compatible with fiber core dimensions, and possibility of direct modulation at relatively high frequencies.

بعض هذه المزايا هي الحجم الصغير، والكفاءة العالية، والموثوقية الجيدة، ومجموعة الطول الموجي الصحيح، والمنطقة الصغيرة المنبعث متوافقة مع أبعاد لب الليف، وإمكانية التشكيل المباشر في الترددات العالية نسبيا.

Although the operation of semiconductor lasers was

وعلى الرغم من أن تشغيل أشباه الموصلات تم إثباته في وقت مبكر من عام 1962،

demonstrated as early as 1962, their use became practical only after 1970, when semiconductor lasers operating continuously at room temperature became available.

أصبح استخدامها عمليا فقط بعد عام 1970، عندما كانت أشعة الليزر لأشباه الموصلات أصبحت متاحة لتعمل بشكل مستمر في درجة حرارة الغرفة.

Since then, semiconductor lasers have been developed extensively because of their importance for optical communications.

ومنذ ذلك الحين، تم تطوير ليزرات أشباه الموصلات على نطاق واسع بسبب أهميتها للاتصالات البصرية.

7.2 The Major Component of Optical Transmitters

2.7 العنصر الرئيسي للمرسلات البصرية

light-emitting diodes (LEDs)

الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs)

LEDs produce incoherent light

الل (الثنائيات الباعثة للضوء) تنتج ضوء غير متشاكه (غير متماسكة)

laser diodes (LDs)

الثنائيات الليزر (LDs)

laser diodes produce coherent light

الثنائيات الليزر تنتج ضوء متشاكه (متماسكة)

7.3 Optical Characteristics of LED and Laser

3.7 الخصائص البصرية للثنائي الباعث للضوء والليزر

The output of laser diode depends on the drive current passing through it.

الناتج من الصمام الثنائي الليزري يعتمد على حركة التيار من خلاله.

At low drive current, the laser operates as an inefficient Led, When drive current crosses threshold value, lasing action beings.

انخفاض حركة التيار، سوف يعمل الليزر كما ان الثنائي الباعث للضوء غير فعال، عندما يكون حركة التيار تعبر قيمة حد العتبة، يبدء الليزر بالعمل.

Fig. 7.1 illustrates graph comparing optical powers of LED operation (due to spontaneous emission) and laser operation (due to stimulated emission).

كما مبين في الشكل 1.7 حيث يوضح الرسم البياني مقارنة الطاقة البصرية لعملية الصمام (بسبب الانبعاثات التلقائي) وتشغيل الليزر (بسبب الانبعاثات المحفزة).

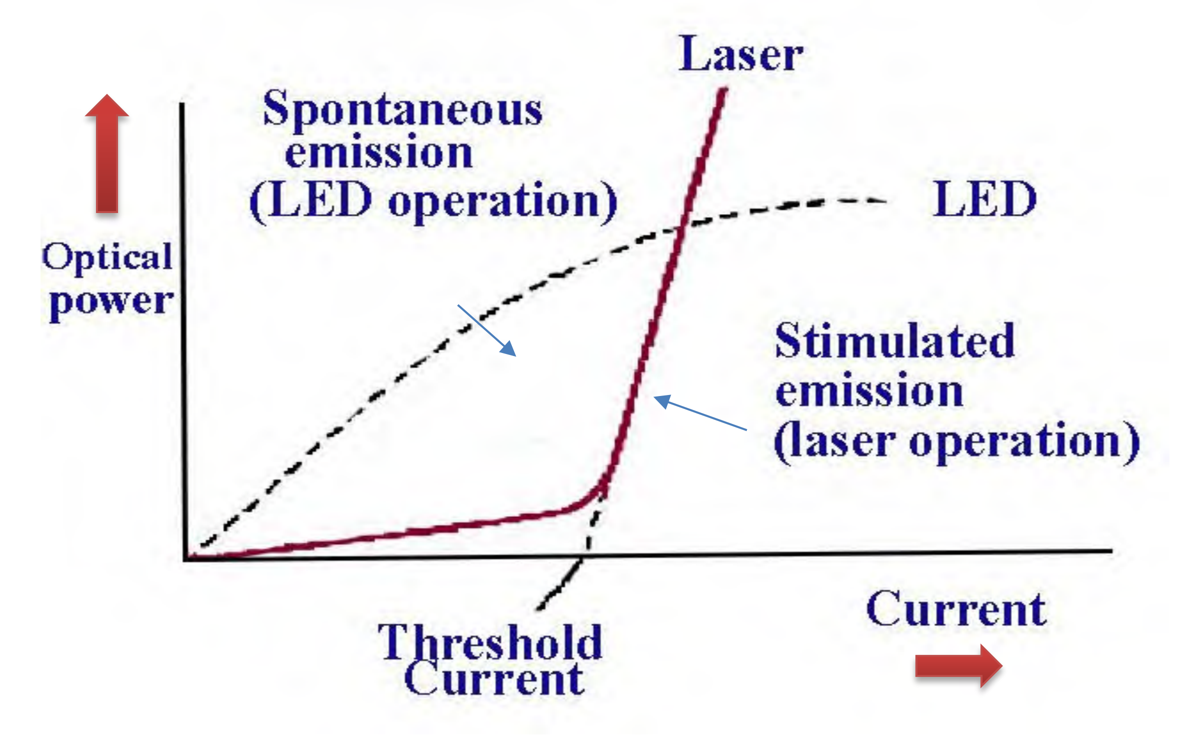


Figure 7.1: optical characteristics of an LED and laser compared.

7.4 Spectral and Spatial Distribution of Led and Laser

4.7 التوزيع الطيفي والتوزيع المكاني الليد والليزر

At low current laser diode acts like normal LED above threshold current, stimulated emission i.e. narrowing of light ray to a few spectral lines instead of broad spectral distribution, exist.

عند انخفاض التيار يعمل الصمام الثنائي لليزر مثل الليد الطبيعي ذو التيار فوق حد العتبة ، والانبعاث المحفز أي تضييق شعاع الضوء إلى عدد قليل من الخطوط الطيفية بدلا من التوزيع الطيفي الواسع.

This enables the laser to easily couple to single mode fiber and reduces the amount of uncoupled light (i.e. spatial radiation distribution). Fig.7.2 shows spectral and spatial distribution difference between two diodes

وهذا يتيح لليزر الزوجين بسهولة إلى الألياف نمط واحد ويقلل من كمية الضوء المنفصل (أي توزيع الإشعاع المكاني). الشكل.2.7 يظهر فرق التوزيع الطيفي والمكاني بين اثنين من الثنائيات

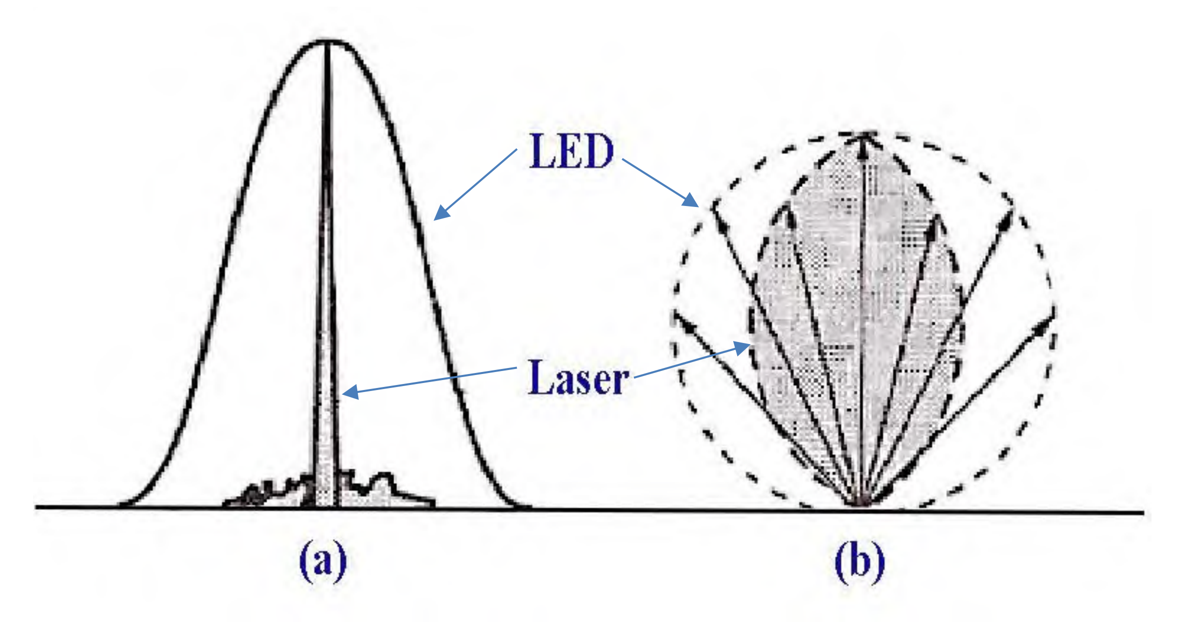


Figure 7.2: comparing (a) spectral and (b) spatial distribution of laser diodes.

7.5 LED (Light Emitting Diode)

LED is a forward-biased p-n junction, emitting light through spontaneous emission, a phenomenon referred to as electroluminescence.

The emitted light is incoherent with a relatively wide spectral width of 30-60 nm.

LED light transmission is also inefficient, with only about 1 % of input power, or about 100 microwatts, eventually converted into «launched power» which has been coupled into the optical fiber.

However, due to their relatively simple design, LEDs are very useful for low-cost applications.

5.7 الثنائي الباعث للضوء (مصباح الليد)

الثنائي الباعث للضوء هو منحنى p-n ذو الانحياز الأمامي، ينبعث الضوء من خلال ظاهرة الانبعاثات التلقائي، وهي ظاهرة يشار إليها بالضيائية الكهربائية.

الضوء المنبعث غير متشاكه (غير متماسك) مع عرض طيفي واسع نسبيا من 30-60 نانومتر.

انتقال الضوء في (الثنائي الباعث للضوء) غير فعال، مع حوالي 1٪ فقط من مدخلات الطاقة، أو حوالي 100 ميكرواط، وتحويلها في نهاية المطاف إلى «طاقة البدأ» التي تم اقترانها في الألياف البصرية.

ومع ذلك، نظرا لتصميمها البسيط نسبيا، وبهذا يكون (الثنائي الباعث للضوء) مفيدة جدا للتطبيقات منخفضة التكلفة.

Communications LEDs are most commonly made from gallium arsenide phosphide (GaAsP) or gallium arsenide (GaAs)

في الاتصالات الأكثر شيوعا لـ(الثنائي الباعث للضوء) هو الفوسفات زرنيخيد الغاليوم (GaAsP) أو زرنيخيد الغاليوم (GaAs)

Because GaAsP LEDs operate at a longer wavelength than GaAs LEDs (1.3 micrometers vs. 0.81-0.87 micrometers), their output spectrum is wider by a factor of about 1.7.

لأن مصابيح الليد (GaAsP) تعمل على طول موجي أطول من المصابيح الليد (GaAs) (1.3 ميكرومتر مقابل 0.81-0.87 ميكرومتر) ، فإن طيف إنتاجها أوسع بعامل يبلغ نحو 1.7.

LEDs are suitable primarily for local-area-network applications with bit rates of 10-100 Mbit/s and transmission distances of a few kilometers.

الليد مناسب أساسا لتطبيقات شبكات المناطق المحلية بمعدلات بتات من 10-100 ميگابت / ثانية ومسافات إرسال بضعة كيلومترات.

LEDs have also been developed that use several quantum wells to emit light at different wavelengths over a broad spectrum, and are currently in use for local-area WDM networks.

كما تم تطوير مصابيح الليد (الثنائي الباعث للضوء) التي تستخدم آبارا كمومية عديدة لتنبعث منها الضوء في أطوال موجية مختلفة على طيف واسع، وتستخدم حاليا لشبكات (WDM) المحلية.

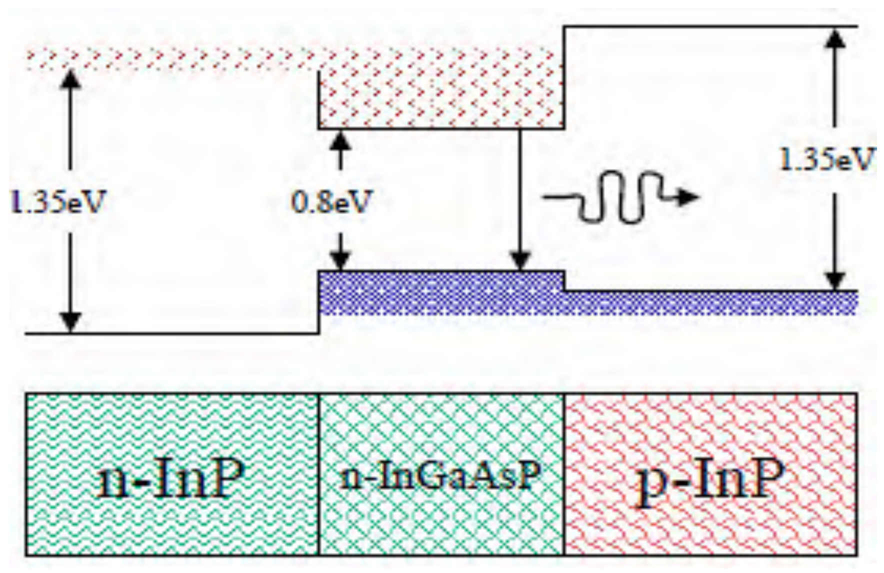


Figure 7.3: Demonstrates the process of transitions in the LED.

LED
Low Power, Cost, Speed
Incoherent light
Line width (50-100nm)

$$E_{ph} = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda_{ph}} \quad .... \quad (7.1)$$

7.6 LASER

6.7 الليزر

A semiconductor laser emits light through stimulated emission rather than spontaneous emission, which results in high output power (~100 mW) as well as other benefits related to the nature of coherent light.

ليزر أشباه الموصلات ينبعث الضوء من خلال الانبعاثات المحفزة بدلا من الانبعاثات التلقائية (الذي يحدث في الثنائي الباعث للضوء) مما يؤدي إلى ارتفاع انتاج الطاقة (~ 100 ميغاواط) فضلا عن فوائد أخرى تتعلق بطبيعة الضوء المتشاكه (متماسكة).

The output of a laser is relatively directional, allowing high coupling efficiency (~50 %) into single-mode fiber.

إخراج الليزر هو اتجاهي نسبيا، مما يسمح له ان يكون ذو كفاءة اقتران عالية (~ 50٪) في الألياف ذات النمط المفرد.

The narrow spectral width also allows for high bit rates since it reduces the effect of chromatic dispersion.

كما يسمح العرض الطيفي الضيق لمعدلات بت عالية لأنه يقلل من تأثير التشتت اللوني.

Furthermore, semiconductor lasers can be modulated directly at high frequencies because of short recombination time.

وعلاوة على ذلك، ليزر أشباه الموصلات يمكن أن تتشكل مباشرة على ترددات عالية بسبب قصر وقت إعادة التركيب.

Laser diodes are often directly modulated, that is the light output is controlled by a current applied directly to the device.

غالبا ما يتم تضمين الثنائيات الليزر مباشرة، وهذا هو ناتج الضوء يتحكم بها تيار ويتم تطبيقها مباشرة على الجهاز.

Laser
Coherent
Narrow spectral width (<8nm)
Temp. & Power control needed
Noise & Chirp

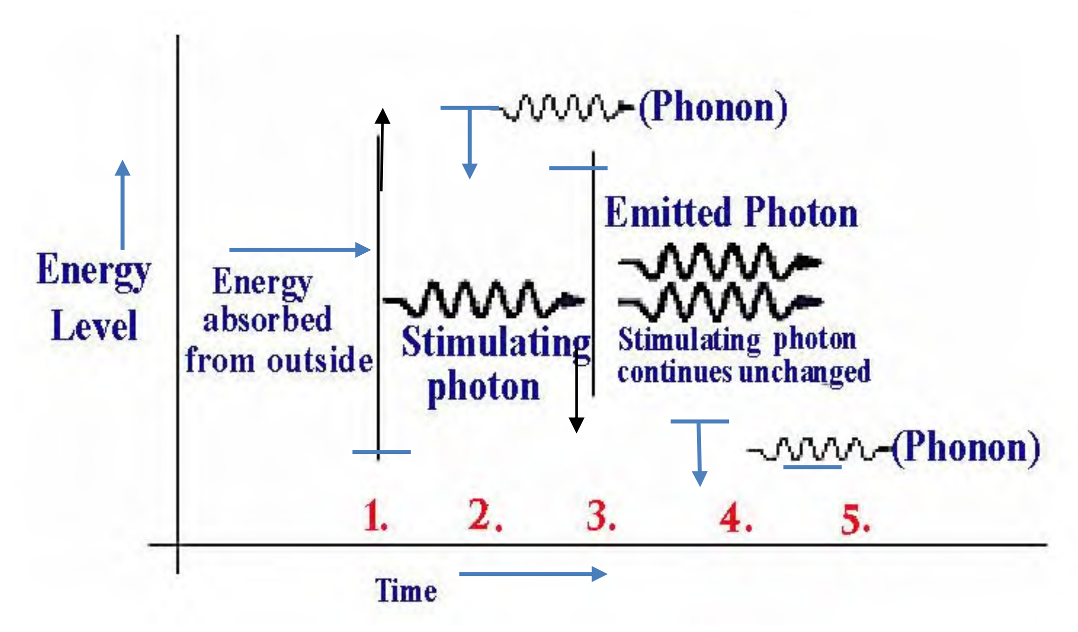


Figure 7.4: Demonstrates the process of transitions in the laser.

7.7 Advantages and Disadvantages of Laser Diode	7.7 مزايا وعيوب الليزر دايود
7.7.1 Advantages of Laser Diode	**1.7.7 مزايا ليزر ديود**
1. Simple economic design.	1. تصميم اقتصادي بسيط.
2. High optical power.	2. ذات طاقة بصرية عالية.
3. Production of light can be precisely controlled.	3. يمكن التحكم بدقة بإنتاج الضوء.
4. Can be used at high temperatures.	4. يمكن استخدامها في درجات الحرارة العالية.
5. Better modulation capability.	5. أفضل قدرة للتضمين.
6. High coupling efficiency.	6. كفاءة اقتران عالية.
7. Low spectral width (3.5 nm).	7. العرض الطيفي المنخفض (3.5 نانومتر).
8. Ability to transmit optical	8. القدرة على نقل قوى الانتاج البصري بين

output powers between 5 and 10 mW.

5 و 10 ميكاواط.

9. Ability to maintain the intrinsic layer characteristics over long periods.

9. القدرة للحفاظ على خصائص الطبقة الداخلية على مدى فترات طويلة.

7.7.2 Disadvantages of Laser Diode

2.7.7 عيوب ليزر الدايود

1. At the end of fiber, a speckle pattern appears as two coherent light beams add or subtract their electric field depending upon their relative phases.

1. في نهاية الألياف، يظهر نمط نقطي مثل اثنين من أشعة الضوء المتشاكه (متماسكة) إضافة أو طرح مجالها الكهربائي اعتماداً على طورها النسبية.

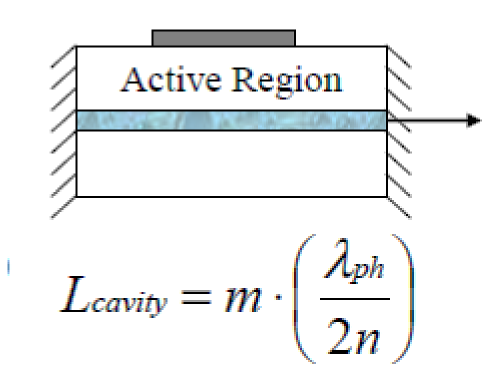
2. Laser diode is extremely sensitive to overload currents and at high transmission rates, when laser is required to operate continuously the use of large drive current produces unfavorable thermal characteristics and necessitates the use of cooling and power stabilization.

2. ليزر الصمام الثنائي (ليزر الدايود) حساس للغاية لتيارات الزائد ومعدلات انتقال عالية، عندما يطلب من الليزر للعمل بشكل مستمر استخدام تيار محرك كبير ينتج الخصائص الحرارية غير المواتية (غير مرغوب بها) ويستلزم استخدام التبريد واستقرار الطاقة.

LASER Types

Fabray-Perot (FP)

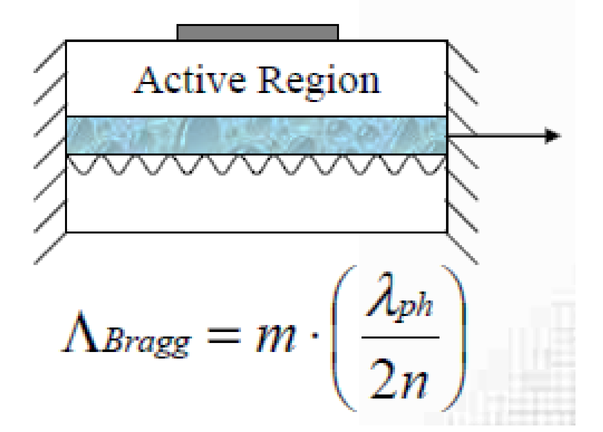
1- LED with mirrors
2- Index & Gain Guided
3- Multiple Modes
4- Spectral width (5-8nm)



$$L_{cavity} = m \cdot \left(\frac{\lambda_{ph}}{2n} \right)$$

Distributed Feedback (DFB)

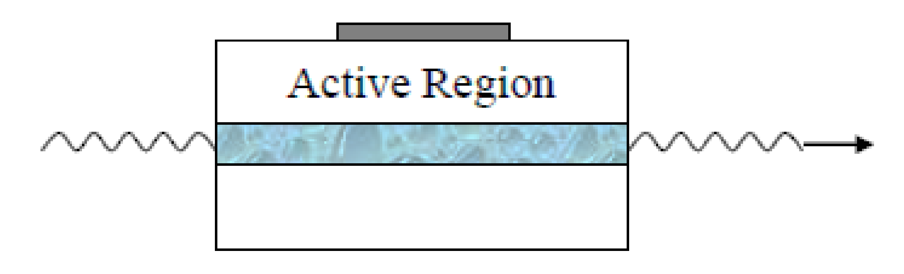
1- Internal Bragg Grating
2- Low noise & chirp
3- Narrow line width (50 kHz)
4- Sensitive to Reflections & Temp.
5- High cost



$$\Lambda_{Bragg} = m \cdot \left(\frac{\lambda_{ph}}{2n}\right)$$

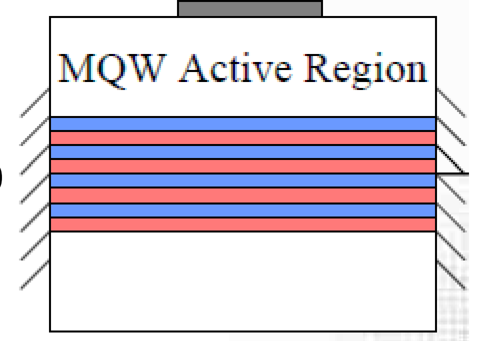
Distributed Bragg Reflector (DBR)

1-External Bragg Grating
2-Same as DFB
3-Temperature stability
4-Very good, but high cost



VCSEL

1-Emits photons vertically
2-Stable
3-Low threshold current & power dissipation.
4-Good modulation bandwidth



QW & MQW

1-Cavity with very thin layer(s) (~10nm)
2-Low power requirements (high gain)
3-Narrow line width

7.8 Mode Field Diameter and Spot Size

8.7 قطر مجال النمط وحجم البقعة

The mode filed diameter is fundamental parameter of a single mode fiber. This parameter is determined from mode field distributions of fundamental LP01 mode.

قطر مجال النمط هو من الاعدادات الأساسية في الألياف ذات النمط الواحد. يتم تحديد هذه الاعدادات من التوزيعات الاساسية لمجال النمط (LP01).

• In step index and graded single mode fibers, the field amplitude distribution is approximated by Gaussian distribution. The **mode Field diameter** (MFD) is distance between opposite $1/e = 0.37$ times the near field strength (amplitude) and power is $1/e^2 = 0.135$ times.

• في معامل الخطوة و للألياف ذات النمط الواحد المتدرج، يقترب توزيع اتساع المجال بتوزيع كَاوس. ويكون قطر مجال النمط (MFD) هو المسافة بين المعاكس $1/e =$ 0.37 أضعاف شدة المجال القريب (والقدرة) هي $1/e^2 = 0.135$ مرة.

• In single mode fiber for fundamental mode, on field amplitude distribution the mode filed diameter is shown in fig.7.5.

• في الألياف أحادية النمط للوضع الأساسي، في توزيع اتساع المجال، يظهر قطر مجال النمط في الشكل 5.7.

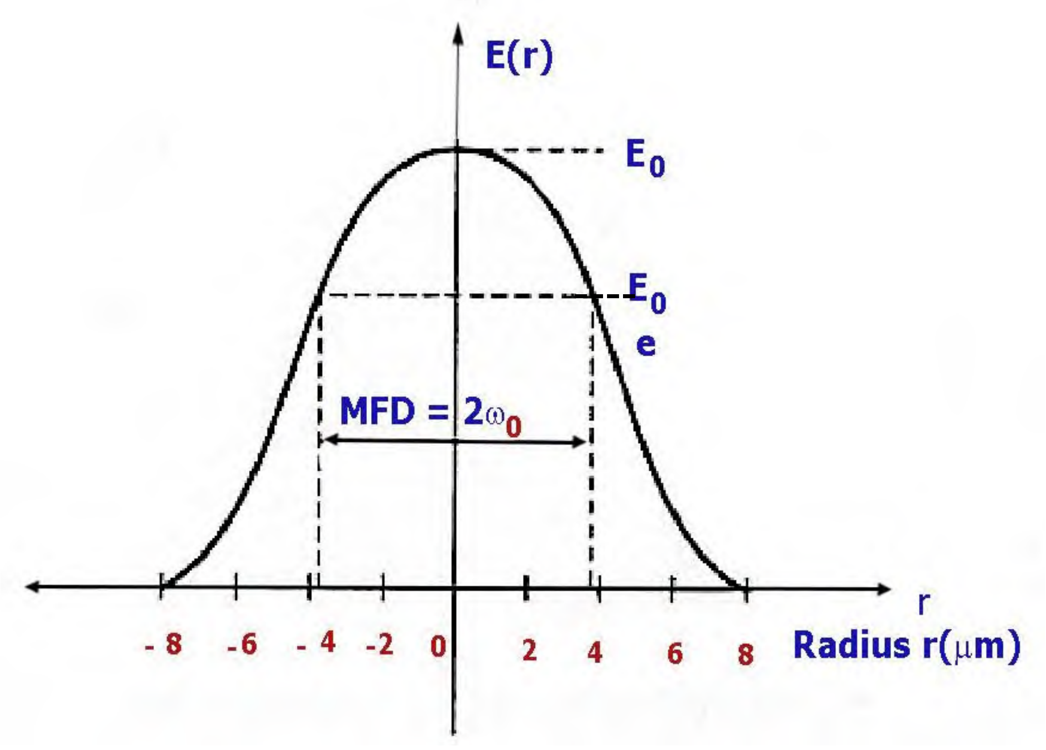


Figure 7.5: Mode field diameter.

Mode field diameter (MFD)

- The spot size ω_O is gives as –

$$\omega_0 = \frac{\text{MFD}}{2} \qquad \text{……….} \quad (7.2)$$

$$\text{MFD} = 2\ \omega_0$$

$$2\ \omega_0 \approx\ 2a\ (1+ \frac{1}{V})$$

$$\therefore \quad \text{MFD} \approx\ 2a\ (1+ \frac{1}{V}) \qquad \text{……….} \quad (7.3)$$

The parameter takes into account the wavelength dependent filed penetration into the cladding. Fig.7.6 shows mode field diameters variation with λ.

تأخذ الاعدادات بعين الاعتبار اختراق المجال المعتمد على طول الموجة في الكسوة. ويبين الشكل 6.7 تغير نمط قطر المجال مع λ.

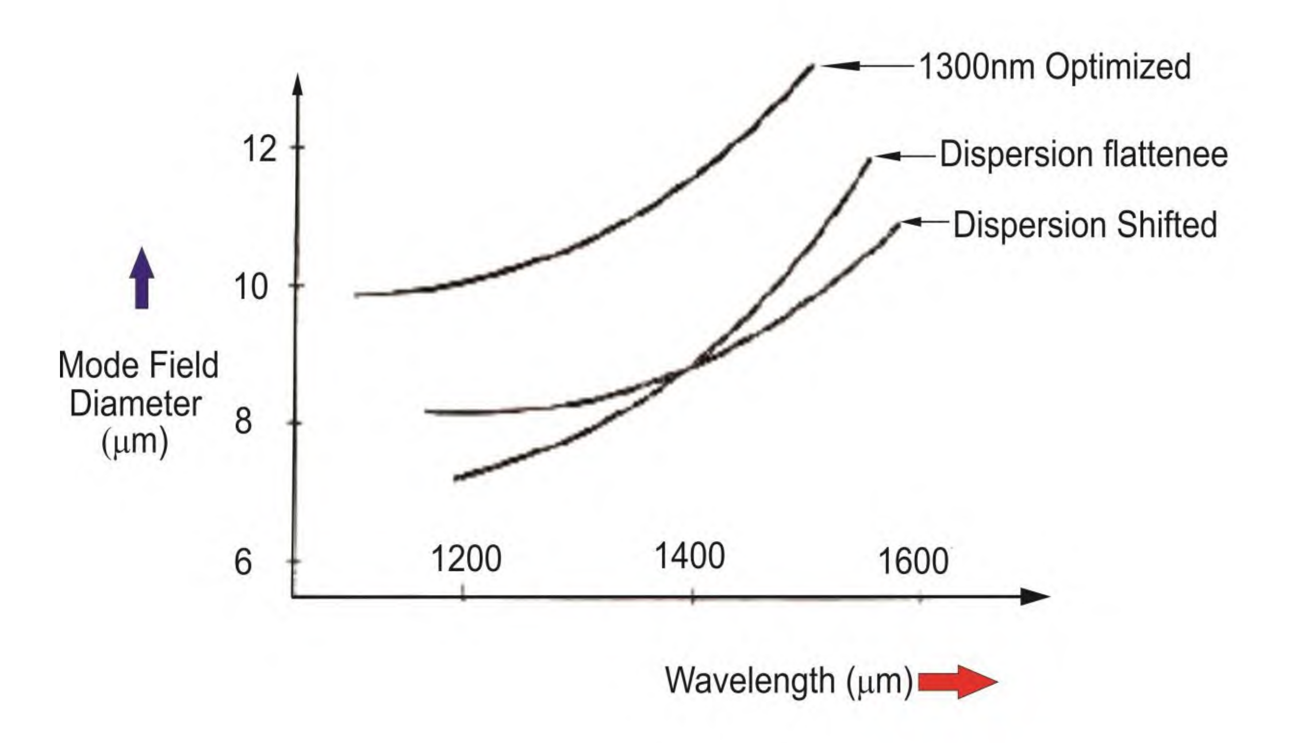


Figure 7.6: Mode field diameter variations.

Example 7.1: Calculate the mode field diameter of a single mode fiber that has the core index of 1.458 and the cladding index of 1.452 at the wavelength of 1.3μm.

Solution:

Core index = 1.458

Cladding index = 1.452

Wavelength = 1.3μm

$$MFD \approx 2a(1+\frac{1}{V}),$$

$$2W_0 = 2a\ (1+1/V)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a\ (NA)$$

$$\boxed{V = \frac{2\pi}{\lambda} a\ n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \frac{V\lambda}{2\pi\ n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\because \qquad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$\therefore \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1.458 - 1.452}{1.458} = 4.11522 \times 10^{-3}$

$\because \quad NA = n_1 (2\Delta)^{1/2}$

$NA = 1.458 (2X\ 4.11522 \times 10^{-3})$

$NA = 0.13227$

$\because \quad a = \frac{v.\lambda}{2\pi.NA}$

$a = \frac{2.4X\ 1.3X\ 10^{-6}}{2X3.14X0.133227}$

$\therefore \quad a = 3.72 \times 10^{-6}$

$\because \quad 2W_0 = 2a\ (1+1/V)$

$2W_0 = 2x3.72 \times 10^{-6}\ (1+\frac{1}{2.4})$

$2W_0 = 7.44 \times 10^{-6} \times 1.41666$

$2W_0 = 10.54 \times 10^{-6}$

$2W_0 = 10.54\ \mu m$

$\therefore$ Mode Field Diameter (MFD) = 10.54 μm Ans.

Table 7.1: Comparison of LED and Laser Diode.

Sr. No.	Parameter	LED	LD (Laser Diode)
1.	Principle of operation	Spontaneous emission.	Stimulated emission.
	مبدأ التشغيل	انبعاث تلقائي	ابعاث محفز
2.	Output beam	Non – coherent.	Coherent.
	شعاع الإخراج	غير متشاكه	متشاكه
3.	Spectral width	Board spectrum (20 nm – 100 nm)	Much narrower (1-5 nm).
	العرض الطيفي	طيف واسع (20 نانومتر - 100 نانومتر)	ضيق جداً (1-5 نانومتر).
4.	Data rate	Low.	Very high.
	معدل البيانات	منخفض	عالي جداً
5.	Transmission distance	Smaller.	Greater.
	مسافة الارسال	أصغر	أكبر
6.	Temperature sensitivity	Less sensitive.	More temperature sensitive.
	حساسية درجة الحرارة	أقل حساسية.	أكثر حساسية.
7.	Coupling efficiency	Very low.	High
	كفاءة الاقتران	منخفضة جداً	عالية
8	Compatible fibers	Multimode step index multimode GRIN.	Single mode SI Multimode GRIN.
	الألياف المتوافقة	متعدد الانماط مؤشر خطوة ومتعدد الانماط مؤشرمتدرج	نمط مفرد ومتعدد الانماط مؤشر متدرج
9	Circuit complexity	Simple	Complex
	دائرة التعقيد	بسيط	مركب
10.	Life time	105 hours.	104 hours.
	مدة الاستخدام	105 ساعة	104 ساعة
11	Cost	Low.	High.
	الكلفة	واطئة	عالية
12	Output power	Linearly proportional to drive current.	Proportional to current above threshold.
	انتاج الطاقة	يتناسب خطيا مع تيار التشغيل	يتناسب مع تيار فوق مستوى العتبة.
13	Current required	Drive current 50 to 100 mA peak.	Threshold current 5 to 40 mA.
	التيار المطلوب	تيار التشغيل بين 50 الى 100 ملي امبير	تيار العتبة من 5 الى 40 ملي امبير

14	Wavelengths available الطول الموجي المتاح	0.66 to 1.65 μm.	0.78 to 1.65 μm.
15	Applications التطبيقات	Moderate distance low data rate. لمسافات متوسطة تنخفض معدلات البيانات	Long distance high data rates. لمسافات طويلة معدلات البيانات عالية.

7.9 Light Source Materials — 9.7 مواد مصدر الضوء

• The spontaneous emission due to carrier recombination is called **electro luminescence**. To encourage electroluminescence it is necessary to select as appropriate semiconductor material. The semiconductors depending on energy bandgap can be categorized into:

• يسمى الانبعاثات التلقائية بسبب إعادة التركيب الناقل الضيائية الكهربائية. لحث الضيائية الكهربائية فمن الضروري تحديد المواد المناسبة من أشباه الموصلات.

أشباه الموصلات اعتمادا على فجوة الطاقة يمكن تصنيفها إلى:

1. Direct bandgap semiconductors.

1. اشباه الموصلات لفجوة نطاق الحزمة المباشرة.

2. Indirect bandgap semiconductors.

1. اشباه الموصلات لفجوة نطاق الحزمة الغير مباشرة.

• Some commonly used bandgap semiconductors are shown in following table.7.2

• بعض أشباه الموصلات ذات فجوة الحزمة التي يشيع استخدامها يمكن الاطلاع عليها من الجدول 2.7.

Table 7.2: Semiconductor material for optical sources.

Semiconductor	Energy bandgap (eV)	Recombination Br (cm3 / sec)
GaAs	Direct : 1.43	7.21×10^{-10}
GaSb	Direct : 0.73	2.39×10^{-10}
InAs	Direct : 0.35	8.5×10^{-11}
InSb	Direct : 0.18	4.58×10^{-11}
Si	Indirect : 1.12	1.79×10^{-15}
Ge	Indirect : 0.67	5.25×10^{-14}
GaP	Indirect : 2.26	5.37×10^{-14}

7.10 Direct and Indirect Transition

10.7 الانتقال المباشر وغير المباشر

The absorption of radiation, which leads to electronic transition between the valence and conduction bands, is divided into direct and indirect transition as shown in Figure (2-9).

امتصاص الإشعاع، الذي يؤدي إلى الانتقالات الإلكترونية بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل، إلى انتقال مباشر وغير مباشر كما هو مبين في الشكل (2-9).

The direct transition requires no change in the crystal momentum (K) or (ΔK=0) through the optical excitation.

ولا يتطلب الانتقال المباشر أي تغيير في الزخم البلوري (K) أو (ΔK = 0) من خلال الإثارة البصرية.

In this case the valence and conduction band extreme are located at the same point in the K-space. The absorption coefficient (α) has the following frequency dependence.

وفي هذه الحالة، يقع نطاق التكافؤ والتوصيل المتطرف في نفس النقطة في الفضاء K. معامل الامتصاص (α) له الاعتماد على التردد اللاحق.

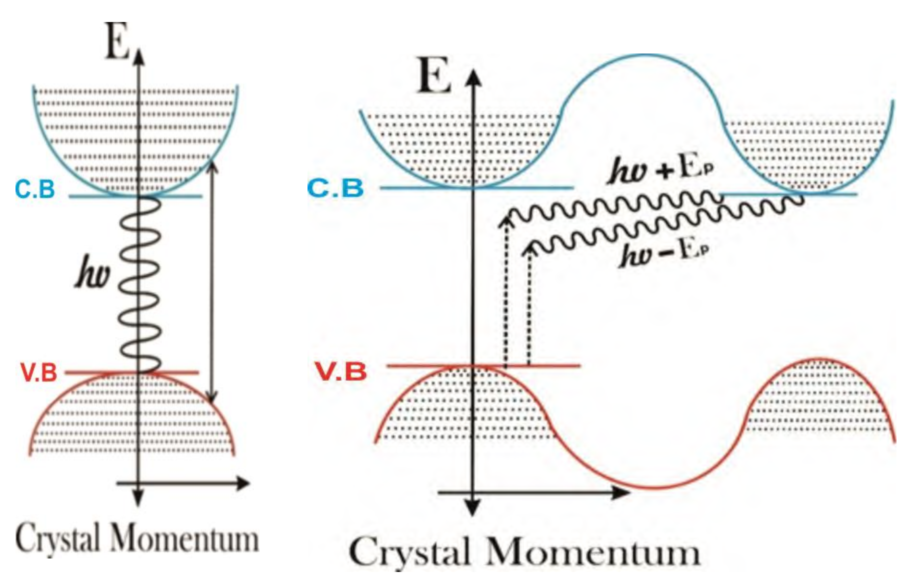


Figure 7.7: Electronic transition a) Direct Transition b) Indirect Transition.

$$\alpha h\upsilon = A_o(h\upsilon - Eg)^{r} \quad \text{..........} \quad (7.4)$$

Where: Ao is constant involving the properties of the bands, and (r) is a constant depending on the kind of the transition.

حيث: (Ao) ثابت ينطوي على خصائص النطاقات، و (r) ثابت تبعا لنوع الانتقال.

When the transition occurred exactly between the top of (V.B) and the bottom of (C.B), in this case the value of (r) has been taken to be (1/2) and the direct transition is called allowed.

عندما يحدث الانتقال بالضبط بين الجزء العلوي من (V.B) والجزء السفلي من (C.B)، في هذه الحالة تكون قيمة (r) تساوي (1/2) ويسمى الانتقال في هذه الحالة بالانتقال المباشر المسموح.

If a direct transition occurs between the (V.B) and (C.B), but at different positions, this transition is called the forbidden transition and (r) value will be (3/2).

وإذا حدث انتقال مباشر بين (V.B) و (C.B)، ولكن في مواضع مختلفة، ويسمى هذا الانتقال بالانتقال المباشر المحظور و (r) قيمتها ستكون (3/2).

For the indirect transition the band extrema are different in their position in k-space, i.e., $\Delta k \neq 0$. The transitions in this case require absorption or emission of phonons to verify the conservation of the crystal momentum.

أما بالنسبة للانتقال غير المباشر، فإن النطاق للقيم القصوى يختلف في موضعه في فضاء - k ، أي $\Delta k \neq 0$. والتحولات في هذه الحالة تتطلب امتصاص أو انبعاث الفونونات للتحقق من الحفاظ على الزخم البلوري.

Where: Ao: is a constant, Eg: is the indirect energy gap, Ep: is the energy of assisted phonon in the indirect transition and r: equals to (2) for indirect allowed transition and (3) for indirect forbidden transition.

حيثما: (Ao) ثابت، (Eg) : هو فجوة الطاقة غير المباشرة، (Ep) : هي الطاقة من فونون المساعدة في الانتقال غير المباشر وفي هذه الحالة ستكون قيمة r: يساوي (2) للانتقال غير المباشرة المسموح و (3) للانتقال غير المباشر الممنوع.

• Direct bandgap semiconductors are most useful for this purpose. In direct bandgap semiconductors the electrons and holes on either side of bandgap have same value of crystal momentum.
Hence direct recombination is possible. The recombination occurs within 10^{-8} to 10^{-10} sec.

• أشـباه الموصـلات ذات النطـاق التـرددي المباشر هي الأكثر فائدة لهذا الغرض. أما في أشـباه الموصـلات ذات النطـاق العـريض المباشر فإن الإلكترونات والفجوات الموجودة علـى جـانبي النطـاق العريض لهـا نفس قيمـة الزخم البلوري.
وبالتـالي إعـادة التركيب المباشـر هو ممكن. وتحدث إعادة التركيب في غضـون 8^{-10} إلـى 10^{-10} ثانية.

• In indirect bandgap semiconductors, the maximum and minimum energies occur at different values of crystal momentum. The recombination in these semiconductors is quite slow i.e. 10^{-2} and 10^{-3} sec.

• في أشباه الموصلات فجوة الطاقة غير المباشرة، والحد الأقصى والحد الأدنى من الطاقات تحدث في قيم مختلفة من زخم البلورة. إعادة التركيب في أشباه الموصلات بطيئة جدا أي تقريباً 10^{-2} و 10^{-3} ثانية.

• The active layer semiconductor material must have a **direct bandgap**. In direct bandgap semiconductor, electrons and holes can recombine directly without need of third particle to conserve momentum.
In these materials the optical radiation is sufficiently high. These materials are compounds of group III elements (Al, Ga, In) and group V element (P, As, Sb). Some tertiary allows Ga1-x Alx As are also used.

• يجـب أن يكـون لطبقـة أشـباه الموصـلات النشـطة فجوة الطاقة المباشرة، الإلكترونـات والثقوب يمكن ان تحدد مباشرة دون الحاجة إلى الجسيم الثالث للحفاظ على الزخم.

في هذه المـواد الإشـعاع البصـري مرتفع بمـا فيه الكفايـة. وهذه المـواد عبـارة عن مركبـات لعناصـر المجموعـة الثالثـة (Al, Ga, In) وعنصـر المجموعـة الخامسـة (P, As, Sb). بعض يسـمح للمرحلـة المتقدمـة كمـا تسـتخدم أيضـا (Ga1-x).

• Emission spectrum of Ga1-x AlxAs LED is shown in Fig.

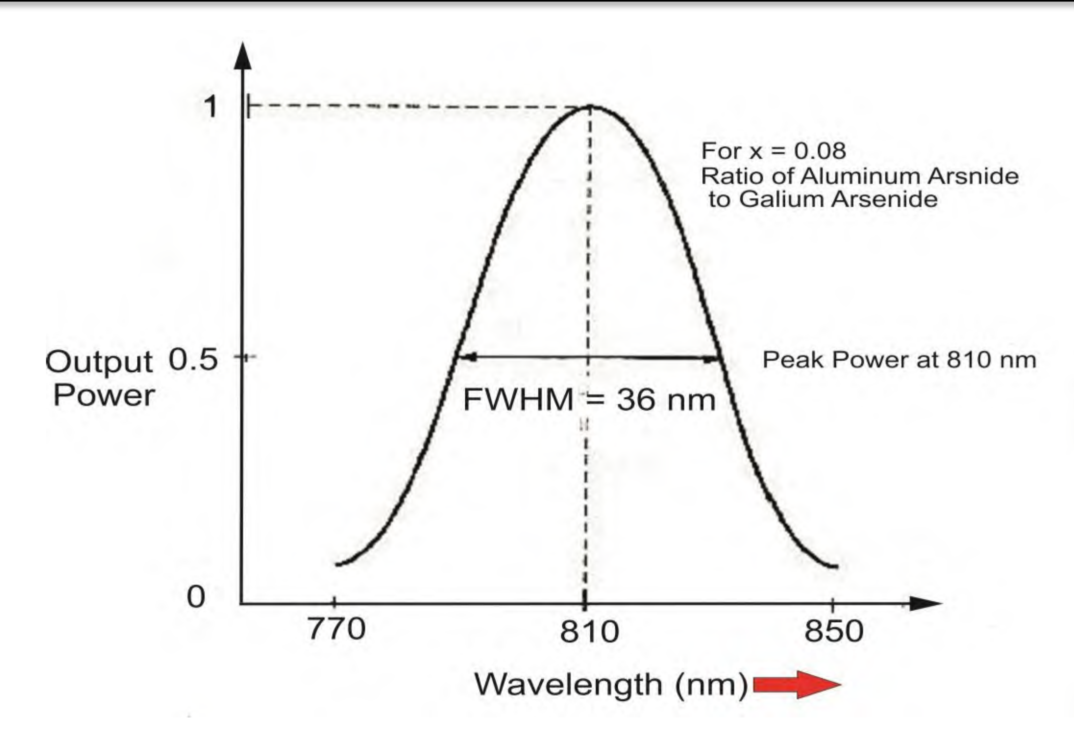


Figure 7.8: Emission Spectrum of Ga 1-x Alx As LED.

- The peak output power is obtained at 810 nm. The width of emission spectrum at half power (0.5) is referred as full width half maximum (FWHM) spectral width. For the given LED FWHM is 36 nm.

- يتم الحصول على قمة انتاج الطاقة في 810 نانومتر. ويشار إلى عرض طيف الانبعاث عند نصف القدرة (0.5) على أنه العرض الطيفي الكامل عند منتصف الشدة (الحد الاقصى) (FWHM). ويعطي الثنائي الباعث للضوء العرض الطيفي الكامل عند منتصف الحد الاقصى هو 36 نانومتر.

- The fundamental quantum mechanical relationship between gap energy E and frequency ν is given as –

- تعطى العلاقة الميكانيكية الكمومية الأساسية بين طاقة الفجوة E والتردد ν على النحو التالي:

$$\mathbf{E = h\nu}$$

$$\mathbf{E = h\frac{c}{\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

where, energy (E) is in joules and wavelength (λ) is in meters. Expressing the gap energy (E_g) in electron volts and wavelength (λ) in micrometers for this application.

حيث تكون الطاقة (E) وحدتها هي الجول والطول الموجة (λ) بالأمتار.
التعبير عن فجوة الطاقة (E_g) في اليكترون فولت والطول الموجي (λ) في ميكرومتر لهذا التطبيق.

$$\lambda(\mu m) = \frac{1.24}{E_g(eV)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.5)$$

Different materials and alloys have different bandgap energies.

• The band gap energy (E_g) can be controlled by two compositional parameters x and y, within direct bandgap region. The quaternary alloy In1-x Gax Asy P1-y is the principal material sued in such LEDs. Two expression relating E_g and x,y are –	• يمكن التحكم في طاقة فجوة النطاق (E_g) بإعدادات مركبتين x و y ضمن منطقة النطاق العريض المباشر. سبائك الرباعية In1-x Gax Asy P1-y هو المادة الرئيسية في الثنائي الباعث للضوء. تعبيرين ذات الصلة (E_g) و(x,y) هي -

$$E_g = 1.424 + 1.266\,x + 0266\,x^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.6)$$

$$E_g = 1.35 - 0.72\,y + 0.12\,y^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.7)$$

Example 7.2: Compute the emitted wavelength from an optical source having x = 0.07.
Solution: x = 0.07

Solution:

$$E_g = 1.424 + 1.266\,x + 0.266\,x^2$$

$$E_g = 1.424 + (1.266 \,X 0.07) + 0.266 X\,(0.07)^2$$

$$E_g = 1.424 + 0.08862 + 0.0013034$$

$$E_g = 1.5139234 \text{ eV}$$

Now

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g}$$

$$\lambda = \frac{1.24}{1.513}$$

$$\lambda = 0.819\ \mu\text{m}$$

Example 7.3: For an alloy In0.74 Ga0.26 As0.57 P0.43 to be sued in Led. Find the wavelength emitted by this source.

Solution: Comparing the alloy with the quartenary alloy composition. In1-x Gax As P1-y it is found that

$x = 0.26$ and

$y = 0.57$

$$E_g = 1.424 + 1.266\,x + 0.266\,x^2$$

$$E_g = 1.424 + 1.266 \times 0.26 + 0.266 \times (0.26)^2$$

$$E_g = 1.424 + 0.32916 + 0.01798$$

$$E_g = 1.7635\ \text{eV}$$

Now
$$\lambda = \frac{1.24}{E_g}$$

$$\lambda = \frac{1.24}{1.7635}$$

$$\lambda = 0.70314\ \mu\text{m}$$

$$E_g = 1.35 - 0.72\,y + 0.12\,y^2$$

Using

$$E_g = 1.35-(0.72 \times 0.57) + 0.12 \times 0.57^2$$

$$E_g = 0.978\ \text{eV}$$

Now
$$\lambda = \frac{1.24}{E_g}$$

$$\lambda = \frac{1.24}{0.978}$$

$$\lambda = 1.2671\ \mu\text{m}$$

7.11 Optical Detectors
11.7 أجهزة الكشف البصري

Principles of Optical Detectors
مبادئ الكشف البصري

• The photodetector works on the principle of optical absorption. The main requirement of light detector or photodector is its fast response. For fiber optic communication purpose most suited photodetectors are PIN (p-type- Intrinsic -n-type) diodes and APD (Avalanche photodiodes)

• يعمل الكاشف الضوئي على مبدأ الامتصاص البصري. والشرط الرئيسي للكشف عن الضوء أو الكاشف الضوئي هو ردها السريع. الغرض الاكثر ملائمة للاتصالات الألياف الضوئية هي الكاشف الضوئي بين (نوع-p- إلجوهري - نوع-n) الصمامات الثنائية الضوئية و (APD) (انهيار الصمام الضوئي)

• The performance parameters of a photodetector are responsivity, quantum efficiency, response time and dark current.

• اعدادات الأداء (الفعل) من الكاشف الضوئي هي الاستجابية، كفاءة الكم، زمن الاستجابة والتيار العالي.

7.12 Cut-off Wavelength (λc)
12.7 طول موجي القطع (λc)

• Any particular semiconductor can absorb photon over a limited wavelength range.

The highest wavelength is known as cut-off wavelength (λc). The cut-off wavelength is determined by bandgap energy E_g of material.

• أي أشباه موصلات معينة يمكن أن تمتص الفوتون على مدى موجات محدود.

ويعرف أعلى طول موجة بالطول الموجي القطع (λc). ويتحدد طول الموجة المقطوعة بالطاقة ذات النطاق العريض E_g للمادة.

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g}$$

Where,

E_g in electron volts (eV) and

λc cut-off wavelength is in μm.

Typical value of λc for silicon is 1.06 μm and for germanium it is 1.6 μm.

7.13 Quantum Efficiency (η) | 13.7 كفاءة الكم (η)

• The quantum efficiency is define as the number of electron-hole carrier pair generated per incident photon of energy hν and is given as

• كفاءة الكم تعرف بأنها عدد زوج الموجة الحاملة للإلكترون - فجوة المولود لكل فوتون من الطاقة hν ويعطى على أنه

$$\eta = \frac{\text{Number of electron hole pairs generated}}{\text{Number of incident photons}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.8)$$

$$\eta = \frac{I_p / q}{P_{in} / h\,v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7.9)$$

where, I_p is average photocurrent.
P_{in} is average optical power incident on photodetector

• Absorption coefficient of material determines the quantum efficiency.

• معامل امتصاص المواد يحدد كفاءة الكم.

Quantum efficiency $\eta < 1$ as all the photons incident will not generate e-h pairs. It is normally expressed in percentage.

كفاءة الكم < 1 لأن كل توليد للفوتونات لن تولد أزواج (e-h) اليكترون فجوة. ويعبر عنه عادة بنسبة مئوية.

7.14 Detector Responsivity (ℜ) | 14.7 استجابة الكاشف (ℜ)

• The responsivity of a photodetector is the ratio of the current output in amperes to the incident optical power in watts. Responsivity is denoted by ℜ

• استجابة الكاشف الضوئي هي نسبة خروج التيار بالأمبيرات إلى الطاقة البصرية الساقطة بالواط. يشار إلى الاستجابة بواسطة (ℜ)

$$\Re = \frac{I_P}{P_{in}} \quad .... \quad (7.10)$$

But $$\eta = \frac{I_p/q}{P_{in}/h\nu}$$

$$\eta = \frac{I_p \, .h\nu}{q \, .P_{in}}$$

$$\eta = \Re \, . \, \frac{h\nu}{q}$$

$$\Re = \eta . \frac{q}{h\nu} \quad .... \quad (7.11)$$

Therefore

وبالتالي

• Responsivity gives transfer characteristics of detector i.e. photo current per unit incident optical power.

• توفر الاستجابة حساسية خصائص الكاشف.
التيار الحالي لكل وحدة الطاقة الضوئية الساقطة.

• Typical responsivities of pin photodiodes are –
Silicon pin photodiode at 900 nm →0.65 A/W.

الاستجابية المثالية هو النقطة الرئيسية للصمام الضوئي
الصمام الضوئي للسيليكون في
.0.65 A/W ⟵ 900 nm

Germanium pin photodiode at 1.3 µm →0.45 A/W.

الصمام الضوئي للجرمانيوم في
.0.45 A/W ⟵ 1.3 µm

In GaAs pin photodiode at 1.3 µm →0.9 A/W.

الصمام الضوئي للـ(GaAs) في
.0.9 A/W ⟵ 1.3 µm

$$\eta = \frac{5.4 \times 10^6}{6 \times 10^6}$$

$$\eta = 0.9 = 90 \ \%$$

• r photodetectors are used. As the intensity of optical signal at the receiver is very low, **the detector has to meet high performance specifications.**

•(r) تستخدم أجهزة الاستشعار الضوئية (الكاشف الضوئي). وبما أن شدة الإشارات البصرية في المستلم (المستقبل) منخفضة جدا، **فإن للكاشف أن يفي بمواصفات عالية الأداء.**

1- The conversion efficiency must be high at the operating wavelength.

1- يجب أن تكون كفاءة التحويل مرتفعة عند الطول الموجي للتشغيل.

2- The speed of response must be high enough to ensure that signal distortion does not occur

2- يجب أن تكون سرعة الاستجابة عالية بما فيه الكفاية لضمان عدم حدوث تشويه الإشارة

3- The detection process introduces the minimum amount of noise.

3- تعطي عملية الكشف الحد الأدنى من الضوضاء.

4- It must be possible to operate continuously over a wide range of temperatures for many years.

4- يجب أن يكون من الممكن العمل بشكل مستمر على مدى واسع من درجات الحرارة لسنوات عديدة.

5- The detector size must be compatible with the fiber dimensions.

5- يجب أن يكون حجم الكاشف متوافق مع أبعاد الألياف.

• At present, these requirements are met by reverse biased p-n photodiodes. In these devices, the semiconductor material absorbs a photon of light, which excites an electron from the valence band to the conduction band (opposite of photon emission). The photo generated electron leaves behind it a hole, and so each photon generates two charge carriers.

• في الوقت الحاضر، يتم تلبية هذه المتطلبات من قبل انحياز p-n الصمام الثنائي ذات الانحياز العكسي. في هذه الأجهزة، تمتص مادة أشباه الموصلات فوتون الضوء، الذي يثير الإلكترون وينقلة من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل (عكس انبعاث الفوتون). صورة تولد الإلكترون يترك وراءه فجوة، وهكذا كل فوتون يولد اثنين من حاملات الشحنة.

The increases the material conductivity so call Photoconductivity resulting in an increase in the diode current. The diode equation is modified as:

تؤدي الموصلية الضوئية إلى زيادة في تيار الصمام الثنائي. يتم تعديل معادلة الصمام الثنائي كما يلي:

$$I_{diode} = (I_d + I_s)(e^{Vq/\eta kT} - 1) \quad \text{......... (7.12)}$$

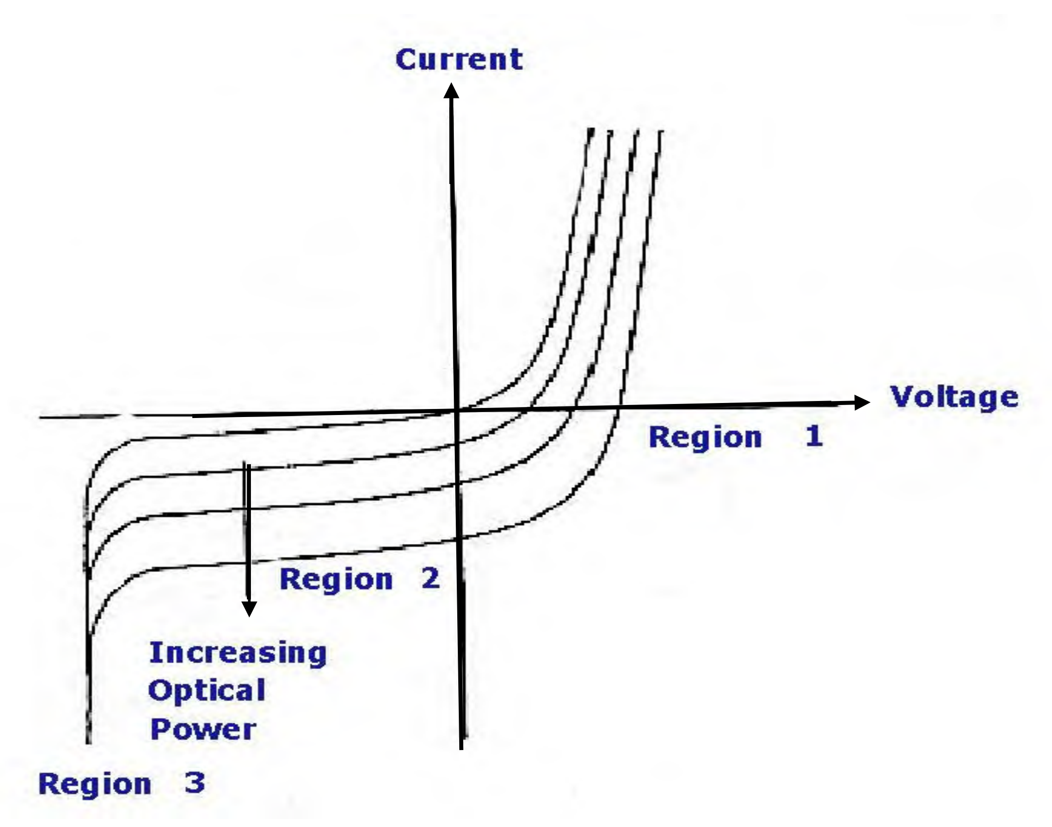
where,

I_d: is dark current i.e. current that flows when no signal is present.

I_d: هو تيار ضعيف، أي التيار الذي يتدفق عندما لا توجد إشارة.

I_s: is photo generated current due to incident optical signal.

I_s: هو إنشاء الضوء الحالية بسبب إشارة ضوئية ساقطة.



V-I characteristics of photodiode

Figure 7.9: shows a plot of this equation for varying amounts of incident optical power.

• Three regions can be seen forward bias, reverse bias and avalanche breakdown.

1) **Forward bias, region 1:**A change in incident power causes a change in terminal voltage, it is called as **photovoltaic mode**.

If the diode is operated in this mode, the frequency response of the diode is poor and so photovoltaic operation is rarely used in optical links.

2) **Reverse bias, region 2:** A change in optical power produces a proportional change in diode current, it is called as **photoconductive mode** of operation which most detectors use.

Under these condition, the exponential term in equation 7.12 becomes insignificant and the reverse bias current is given by:

• يمكن أن ينظر إلى المناطق الثلاث بالانحياز الامامي والانحياز العكسي وايقاف الانهيار.

i) منطقة الانحياز الامامي 1: A تغيير في الطاقة الساقطة يسبب تغيرا في الجهد النهائي (الفولتية الطرفية)، ويسمى **نمط الجهد الضوئي.**

إذا تم تشغيل الصمام الثنائي في هذا النمط، واستجابة التردد من الصمام الثنائي هو الردىء، وبالتالي نادرا ما تستخدم العملية الضوئية في الروابط البصرية.

ii) منطقة الانحياز العكسي A:2 تغير في الطاقة الضوئية يحدث تغييرا نسبيا في تيار الصمام الثنائي، ويطلق عليه **نمط الموصل الضوئي** من العملية تستخدمها معظم أجهزة الكشف.

وفي ظل هذه الحالة، يصبح المصطلح الأسي في المعادلة 12.7 ضئيلا ويعطى تيار الانحراف العكسي بواسطة:

$$I_{diode} = (I_d + I_s) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7.13)$$

• **Responsivity** of photodiode is defined as the change in reverse bias current per unit change in optical power, and so efficient detectors need large responsivities.

• يتم تعريف استجابة الثنائي الضوئي على أنه التغيير في تيار الانحياز العكسي لكل وحدة تغير في الطاقة الضوئية، وبالتالي فإن أجهزة الكاشف الفعالة تحتاج إلى كواشف فعالة جداً واستجابية عالية.

3) **Avalanche breakdown, region 3**: When biased in this region, a photo generated electron-hole pair causes avalanche breakdown, resulting in large diode for a single incident photon.

3) **منطقة 3 هي منطقة توقف الانهيار،** عندما يكون الانحياز في هذه المنطقة، يولد الضوء زوج الإلكترون فجوة ويسبب توقف الانهيار، مما يؤدي إلى الصمام الضوئي الكبير بسبب سقوط فوتون واحد.

Avalanche photodiodes (APDs) operate in this region APDs exhibit carrier multiplication. They are usually very sensitive detectors.

انهيار الصمام الضوئي (APDs) يعمل في هذه المنطقة على مضاعفة التيار الظاهر. وهي عادة ما تكون كاشفات حساسة جدا.

Unfortunately V-I characteristic is very steep in this region and so the bias voltage must be tightly controlled to prevent spontaneous breakdown.

لسوء الحظ ميزة V-I شديدة الانحدار في هذه المنطقة، وبالتالي فإن الجهد التحيز يجب أن تسيطر بإحكام لمنع الانهيار التلقائي.

Chapter 8

Attenuation

8 Attenuation in Optical Communications Systems

8 التوهين في أنظمة الاتصالات البصرية

8.1 Introduction

1.8 المقدمة

1- One of the important properties of optical fiber is signal attenuation.

1- واحدة من الخصائص الهامة للألياف البصرية هي توهين الإشارة.

It is also known as fiber loss or signal loss. The signal attenuation of fiber determines the maximum distance between transmitter and receiver.

ومن المعروف أيضا باسم فقدان الألياف أو فقدان الإشارة. ويحدد توهين الإشارة للألياف اقصى مسافة بين المرسل والمستقبل.

The attenuation also determines the number of repeaters required, maintaining repeater is a costly affair.

ويحدد التوهين أيضا عدد المكررات المطلوبة، والحفاظ على المكرر هو أمر مكلف.

2- Another important property of optical fiber is distortion mechanism. As the signal pulse travels along the fiber length it becomes broader.

2- خاصية هامة أخرى للألياف الضوئية هي آلية التشويه. كلما تسير نبض الإشارة على طول امتداد الألياف تصبح أكثر اتساعا.

After sufficient length the broad pulses starts overlapping with

وبعد طول معين تبدأ النبضة العريضة بالتداخل مع النبضات المجاورة.

adjacent pulses.

This creates error in the receiver. Hence the distortion limits the information carrying capacity of fiber.

يؤدي هذا الى حدوث خطأ في المستلم. وبالتالي فإن التشويه يحد من قدرة تحميل المعلومات على الألياف.

8.2 Attenuation

2.8 التوهين

1- Attenuation is a measure of decay of signal strength or loss of light power that occurs as light pulses propagate through the length of the fiber, limiting the operating span of a system.

1- التوهين هو مقياس اضمحلال قوة الإشارة أو فقدان القدرة الضوئية التي تحدث عندما تنتشر نبضة الضوء على طول امتداد الألياف، مما يحد من المدى التشغيلي للنظام.

2- In optical fibers the attenuation is mainly caused by two physical factors absorption and scattering losses.

2- في الألياف الضوئية، ينجم التوهين أساسا عن اثنين من العوامل الفيزيائية الامتصاصية وخسائر الاستطارة.

Absorption is because of fiber material and scattering due to structural imperfection within the fiber. Nearly 90 % of total attenuation is caused by Rayleigh scattering only.

الامتصاصية تحدث بسبب مادة الألياف والاستطارة بسبب النقص الهيكلي داخل الألياف. ويحدث ما يقرب من 90٪ من إجمالي التوهين بسبب استطارة رايلي فقط.

Microbending of optical fiber also contributes to the attenuation of signal.

كما يساهم الإنحناء الجزئي للألياف الضوئية في توهين الإشارة.

3- The rate at which light is absorbed is dependent on the wavelength of the light and the characteristics of particular glass.

3 - معدل امتصاص الضوء يعتمد على الطول الموجي للضوء وخصائص الصفة المعينة للزجاج.

Glass is a silicon compound, by

adding different additional chemicals to the basic silicon dioxide the optical properties of the glass can be changed.

الزجاج هو مركب السيليكون، بإضافة مواد كيميائية مختلفة إلى ثاني أكسيد السيليكون الأساسي يمكن تغيير الخصائص البصرية للزجاج.

4- The Rayleigh scattering is wavelength dependent and reduces rapidly as the wavelength of the incident radiation increases.

4- إن استطارة رايلي (تشتت رايلي) يعتمد على طول الموجة ويقل بسرعة مع زيادة الطول الموجي للشعاع الساقط.

5- The attenuation of fiber is governed by the materials from which it is fabricated, the manufacturing process and the refractive index profile chosen.

5 - إن توهين الألياف محكوم بالمواد التي تصنع منها، وعملية التصنيع، وطبيعة معامل الانكسار المختار.

6- Attenuation loss is measured in dB/km.

6 - تقاس خسارة التوهين بمقدار ديسيبل/كم.

7-Attenuation has dropped from 20dB/Km (1973) to 0.2 dB/Km (1993).

7-انخفض التوهين من 20 ديسيبل/كم سنة (1973) إلى 0.2 ديسيبل/كم عام (1993).

8-Simple formula relates received power P_r and transmitted power P_t.

8- صيغة بسيطة للعلاقة بين فرق الطاقة المستلمة (P_r) والطاقة المرسلة (P_t).

$$\mathbf{P_r = P_t 10^{\frac{-\alpha L}{10}}} \quad \text{..........} \quad \mathbf{(8.1)}$$

α: is attenuation in dB/km	α: هو مقدارالتوهين (ديسيبل / كم)
L: is fiber span in km	L: هو طول الألياف (كم)

Due to attenuation, the power output(P_{out}) at the end of (1 km) of optical fiber drops to some fraction (k) of the input power (P_{in})i.e.

وبسبب التوهين، ينخفض مقدارالقدرة الخارجة (P_{out}) عند نهاية (1 كم) من الألياف البصرية إلى بعض الكسر (k) من مقدار القدرة الداخلة (P_{in}).

$$P_{out} = k.P_{in} \qquad \text{(k less than 1)}$$

Clearly, after 2 km, $p_{out} = k^2.p_{in}$

and after (L) km, $p_{out} = k^L.p_{in}$. .... **(8.2)**

Hence, the ration of the power out of L km of optical fiber to power in is given by taking the log of both sides and multiplying by 10 gives the power loss in dB as

ومن ثم، تعطي نسبة القدرة الخارجه من طول الليف L كم من الألياف البصرية إلى القدرة الداخله عن طريق أخذ (log) كلا الجانبين والضرب في 10 يعطي خسارة القدرة بالديسيبل

Power loss (dB) = $10 \log_{10} (p_{out} / p_{in})$ .... **(8.3)**

$$= 10 \log_{10} k^L$$

$$= L.10 \log_{10} k.$$

$$= \alpha .L$$

Where $\alpha = 10 \log_{10} k$

Is the attenuation coefficient of the fiber in dB/km

Since attenuation is the loss, therefore, it is always expressed as

$$P_{out} = p_{in} 10^{(-\alpha .L/10)} \qquad \text{.......... } \mathbf{(8.4)}$$

There are a number of major causes of attenuation in fiber:	وهناك عدد من الأسباب الرئيسية للتوهين في الألياف:
a- Absorption loss.	a- خسائر الامتصاصية.
b- Scattering loss.	b- خسائر الاستطارة.
c- Bending loss.	c- خسائرة الانحناء.

8.3 Effect of Attenuation

3.8 تأثير التوهين

1-A receiver in an optical system requires a minimum optical input power to operate with a specified error probability.

1- المستقبل في النظام البصري يتطلب الحد الأدنى من قدرة المدخلات البصرية للعمل مع احتمال الخطأ المحدد.

2-Attenuation reduces the optical power available, degrading the error probability.

2 - يقلل التوهين من القدرة الضوئية المتاحة، مما يؤدي إلى تدهور احتمال الخطأ.

3-Most system specifications allow a maximum error probability.

3- تسمح معظم مواصفات النظام بحد أقصى لأحتمالية الخطأ.

Plot of error probability versus received optical power for a 622 Mbits/se transmission system

في الرسم يوضح احتمال الخطأ مقابل القدرة البصرية المستقبلة لنظام الإرسال 622 ميكابت/الثانية

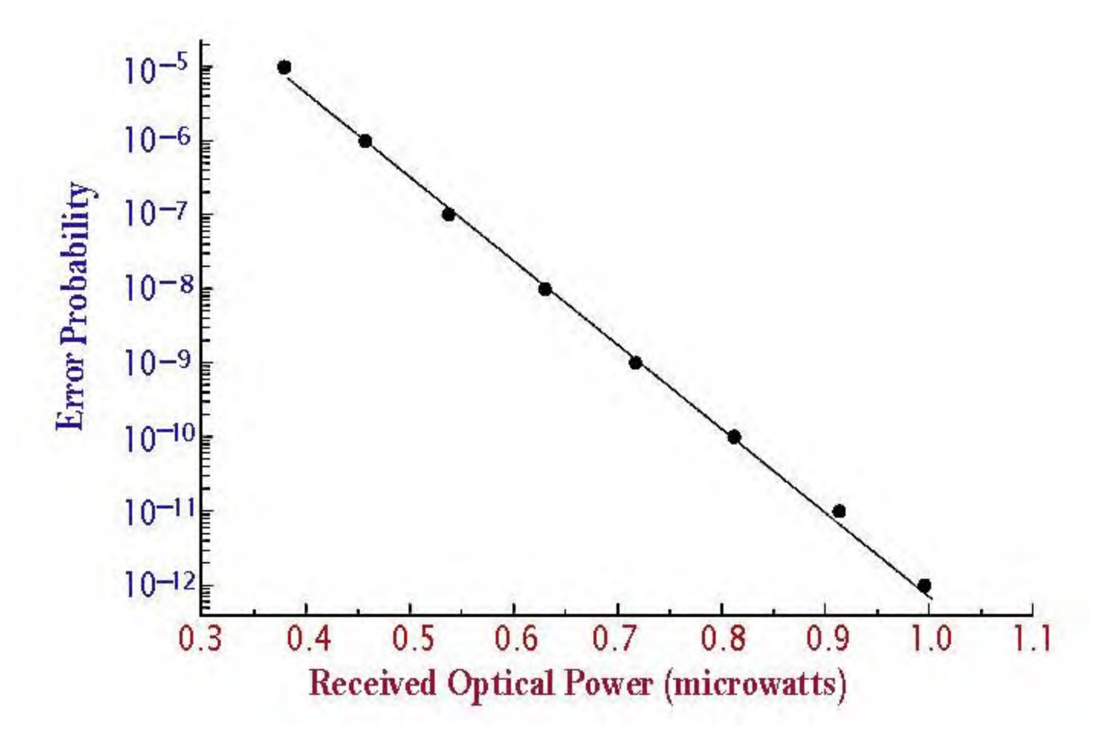


Figure 8.1: show Plot of error probability versus received optical power.

8.4 Attenuation Units
4.8 وحدات التوهين

• As attenuation leads to a loss of power along the fiber; the output power is significantly less than the couple's power. Let the couples optical power is p(0) i.e. at origin (z = 0).

• بما أن التوهين يؤدي إلى فقدان القدرة على طول الألياف، تكون قدرة الخرج أقل بكثير من قدرة الأقتران. ندع القدرة البصرية للاقتران p (0) أي في الأصل (z = 0).

Then the power at distance z is given by,

$$P(z) = P(0)\, e^{-\alpha_p . z}$$

Where, α_p is fiber attenuation constant (per km).

$$\frac{p(z)}{p(0)} = e^{-\alpha_p . z} \qquad \text{.......... (8.5)}$$

$$ln\frac{p(z)}{p(0)} = -\alpha_p . z$$

$$\alpha_p . z = ln\frac{p(0)}{p(z)}$$

$$\boxed{\alpha_p = \frac{1}{z}\ln\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]} \qquad \text{.......... (8.6)}$$

$\because$ $\quad \ln = 2.303 \log$

$\because$ $\quad \alpha_{dB/km} = 4.343\, \alpha_p$ per Km

$$\therefore \quad \boxed{\alpha_{dB/km} = 10 \text{x} \frac{1}{z}\log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]} \qquad \text{.......... (8.7)}$$

This parameter is known as fiber loss or fiber attenuation.

ويعرف هذا المقياس بفقدان الألياف أو توهين الألياف.

• Attenuation is also a function of wavelength. Optical fiber wavelength as a function of wavelength is shown in Fig. 8.2.

• التوهين هو أيضا دالة للطول الموجي. ويظهر الشكل الموجي للألياف البصرية كدالة لطول الموجة الشكل 2.8.

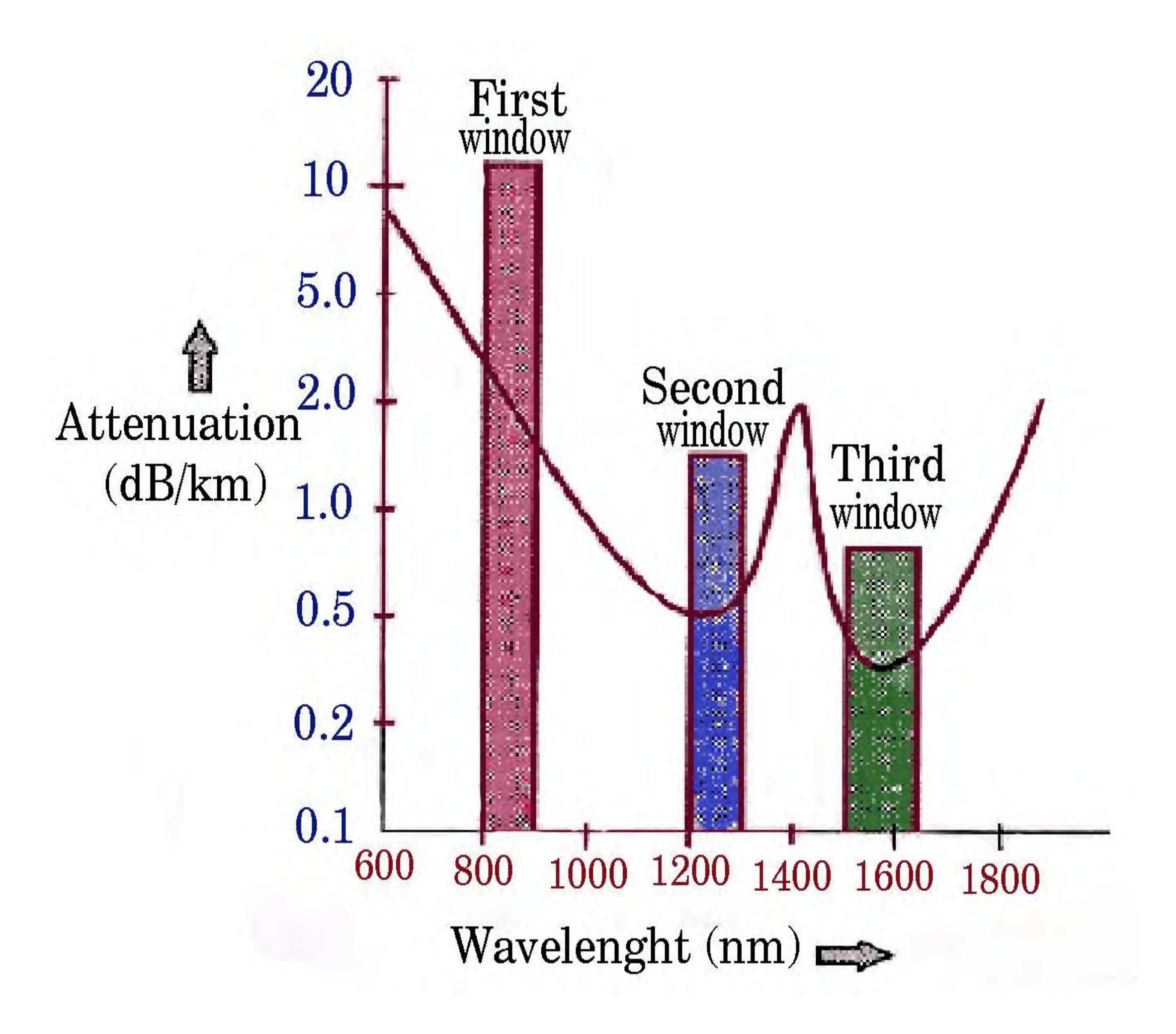


Figure 8.2: Illustrates Fiber attenuation a function of wavelength

Example 8.1: A low loss fiber has average loss of 3 dB/km at 900 nm. Compute the length over which:

a) Power decreases by 50 %.

b) Power decreases by 75 %.

Solution: α = 3 dB/km

a) Power decreases by 50 %.

$$\frac{p(0)}{p(z)} = 50\% = 0.5$$

α is given by,

$$\alpha_{dB/km} = 10x\ \frac{1}{z}\log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$3 = 10.\frac{1}{z}\log\ [0.5]$$

$$3 = 10x\frac{1}{z}x\ (0{,}3010)$$

$$z = 10x\frac{1}{3}x\ (0{,}3010)$$

$$z = 1.0034$$

z = **1 km** **… Ans.**

b) Since power decrease by 75 %.

$$\frac{p(0)}{p(z)} = 25\% = 0.25$$

$$3 = 10x\frac{1}{z}x\log\ [0.25]$$

$$3 = 10x\frac{1}{z}x\ (0{,}6020)$$

$$z = 10x\frac{1}{3}x\ (0{,}6020)$$

z = **2 km** **… Ans.**

Example 8.2: For a 30 km long fiber attenuation 0.8 dB/km at 1300nm. If a 200 μ watt power is launched into the fiber, find the output power.

Solution: z = 30 km

α = 0.8 dB/km

P(0) = 200 μW

Attenuation in optical fiber is given by,

$$\alpha_{\text{dB/km}} = 10\text{x}\,\frac{1}{z}\,\text{x}\ \log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$0.8 = 10\text{x}\,\frac{1}{30}\,\text{x}\ \log\left[\frac{200\mu W}{p(z)}\right]$$

$$2.4 = \log\left[\frac{200\mu W}{p(z)}\right]$$

$$\left[\frac{200\mu W}{p(z)}\right] = 10^{2.4}$$

$$p(z) = \left[\frac{200\mu W}{10^{2.4}}\right] = \left[\frac{200\mu W}{251.1886}\right]$$

$p(z)$ = 0.7962 μW ... **Ans.**

Example 8.3: When mean optical power launched into an 8 km length of fiber is 12 μW, the mean optical power at the fiber output is 3 μW. Determine:

1) Overall signal attenuation in dB.

2) The overall signal attenuation for a 10 km optical link using the same fiber with splices at 1 km intervals, each giving an attenuation of 1 dB.

Solution: Given : z = 8 km

P(0) = 120 μW

P(z) = 3 μW

1) Overall attenuation is given by,

$$\alpha_{dB} = 10x \log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$\alpha_{dB} = 10x \log\left[\frac{120\mu W}{3\mu W}\right] = 10 \text{ X } 1.602$$

$$\alpha_{dB} = 16.02 \text{ dB}$$

2) Overall attenuation for 10 km,

Attenuation per km

$$\alpha_{dB/km} = 10x \frac{1}{z} \log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$\alpha_{dB/km} = 10x \frac{1}{8} \log\left[\frac{120\mu W}{3\mu W}\right] = 1.25 \text{ X } 1.602 = 2.00$$

Attenuation in 10 km link = 2.00 x 10 = 20 dB

In 10 km link there will be 9 splices at 1 km interval. Each splice introducing attenuation of 1 dB.

Total attenuation = 20 dB + 9 dB = **29 dB**

Example 8.4: A continuous 12 km long optical fiber link has a loss of 1.5 dB/km.

i) What is the minimum optical power level that must be launched into the fiber to maintain as optical power level of 0.3 μW at the receiving end?

ii) What is the required input power if the fiber has a loss of 2.5 dB/km?

<u>Solution</u>: Given data : z = 12 km

α = 1.5 dB/km

P(0) = 0.3 μW

i) Attenuation in optical fiber is given by,

$$\alpha = 10\text{x}\,\frac{1}{z}\log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$1.5 = 10\text{x}\,\frac{1}{12}\log\left[\frac{0.3\mu W}{p(z)}\right]$$

$$\log\left[\frac{0.3\mu W}{p(z)}\right] = 1.8$$

$$\left(\frac{0.3\mu W}{p(z)}\right) = 10^{1.8}$$

$$p(z) = \left(\frac{0.3\mu W}{10^{1.8}}\right) = \left(\frac{0.3\mu W}{63.09}\right)$$

$$p(z) = 4.754 \text{ X } 10^{-3}\ \mu W$$

Optical power output = **4.754 x 10^{-9} W** **… Ans.**

When α = 2.5 dB/km

$$\alpha = 10\text{x}\,\frac{1}{z}\log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$2.5 = 10\text{x}\,\frac{1}{12}\log\left[\frac{p(0)}{4.754 \text{ x } 10^{-9}}\right]$$

$$\log\left[\frac{p(0)}{4.754 \times 10^{-9}}\right] = \frac{2.5}{0.833} = 3$$

$$\frac{p(0)}{4.754 \times 10^{-9}} = 10^3 = 1000$$

$$p(0) = 4.754\ \mu w$$

Input power= **4.754 μW** **… Ans.**

Example 8.5: The input power to an optical fiber is 2 mW while the power measured at the output end is 2 μW. If the fiber attenuation is 0.5 dB/km, calculate the length of the fiber.

Solution:

Given:

$P(0) = 2$ mwatt $= 2 \times 10^{-3}$ watt

$P(z) = 2$ μwatt $= 2 \times 10^{-6}$ watt

$\alpha = 0.5$ dB/km

$$\alpha = 10 \text{x} \frac{1}{z} \log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

$$0.5 = 10 \text{x} \frac{1}{z} \log\left[\frac{2 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}}\right]$$

$$Z = 20 \times \log(1000)$$

$Z = 20 \times 3 = 60$ Km **… Ans.**

Example 8.6: Optical power launched into fiber at transmitter end is 150 μW. The power at the end of 10 km length of the link working in first windows is – 38.2 dBm. Another system of same length working in second window is 47.5 μW. Same length system working in third window has 50 % launched power. Calculate fiber attenuation for each case and mention wavelength of operation.

<u>Solution</u>: Given data:

$$P(0) = 150\ \mu W$$

$$P(z) = -38.2\ dBm$$

$$-38.2 = 10\log\left[\frac{p(z)}{1mW}\right]$$

$$\left(\frac{p(z)}{1mW}\right) = 10^{-3.82}$$

$$\left(\frac{p(z)}{1mW}\right) = 0.1513 \text{ X } 10^{-3}$$

$$p(z) = 0.1513 \text{ X } 10^{-6} \mu w$$

When z= 10 km

$$\alpha = 10\text{x}\frac{1}{z}\log\left[\frac{p(0)}{p(z)}\right]$$

Attenuation in 1st window:

$$\alpha_1 = 10\text{x}\frac{1}{10}\log\left[\frac{150}{0.151}\right]$$

$$\alpha_1 = \log(993.377)$$

$$\alpha_1 = 2.9971 \text{ dB/Km}$$

… Ans.

Attenuation in 2nd window:

$$\alpha_2 = 10\text{x}\,\frac{1}{10}\log\left[\frac{150}{47.5}\right]$$

$$\alpha_2 = \log(3.1578)$$

$$\alpha_2 = 0.4993 \text{ dB/Km}$$ **… Ans.**

Attenuation in 3rd window:

$$\alpha_3 = 10\text{x}\,\frac{1}{10}\log\left[\frac{150}{75}\right]$$

$$\alpha_3 = \log(2)$$

$$\alpha_3 = 0.3010 \text{ dB/Km}$$ **… Ans.**

Wavelength in 1st window is 850 nm.
Wavelength in 2nd window is 1300 nm.
Wavelength in 3rd window is 1550 nm.

8.5 Types of Attenuation

5.8 أنواع التوهين

1-Absorption Loss:

Caused by the fiber itself or by impurities in the fiber, such as water and metals.

1-خسائر الامتصاص:

الناجمة عن الألياف نفسها أو عن طريق الشوائب في الألياف، مثل المياه والمعادن.

2-Scattering Loss:

Intrinsic loss mechanism caused by the interaction of photons with the glass itself.

2-خسائر الاستطارة:

آلية الخسارة الذاتية الناجمة عن تفاعل الفوتونات مع الزجاج نفسه.

3-Bending loss:

Loss induced by physical stress on the fiber.

3-خسارة الانحناء:

الخسارة الناجمة عن الإجهاد البدني على الألياف.

8.6 Absorption

6.8 الامتصاص

- Absorption loss is related to the material composition and fabrication process of fiber.

- يرتبط فقدان الامتصاص بالتركيب المادي وعملية تصنيع الألياف.

Absorption loss results in dissipation of some optical power as hear in the fiber cable.

ويعتبرناتج فقدان الامتصاص من المسببات في تبديد بعض الطاقة البصرية كما نعرف في كابل الألياف.

Although glass fibers are extremely pure, some impurities still remain as residue after purification.

على الرغم من أن الألياف الزجاجية نقية للغاية، لا تزال بعض الشوائب تبقى حتى بعد التنقية.

The amount of absorption by these impurities depends on their concentration and light wavelength.

كمية الامتصاص من قبل هذه الشوائب يعتمد على تركيزها وطول موجة الضوء.

How the absorption losses occur:	**كيف تحدث خسائر امتصاص المواد:**
1- Material absorption is caused by absorption of photons within the fiber.	• يحدث امتصاص المواد عن طريق امتصاص الفوتونات داخل الألياف.
a- When a material is illuminated, photons can make the valence electrons of an atom transition to higher energy levels.	- عندما تضيء المادة، يمكن للفوتونات أن تجعل إلكترونات التكافؤ من الذرة أن تنتقل إلى مستويات طاقة أعلى.
b- Photon is destroyed, and the radiant energy is transformed into electric potential energy. This energy can then	- يتم تدمير الفوتون، وتحول الطاقة الإشعاعية إلى طاقة كهربائية محتملة. هذه الطاقة يمكن بعد ذلك
i- Be re-emitted (scattering)	i - إعادة الانبعاث (الاستطارة)
ii- Frees the electron (photoelectric effects) (not in fibers)	ii - يحرر الإلكترون (التأثير الكهروضوئية) (وليس في الألياف)
iii- Dissipated to the rest of the material (transformed into heat)	iii - تبدد بقية المادة (تتحول إلى حرارة)
iv- In an optical fiber Material Absorption is the optical power that is effectively converted to heat dissipation within the fiber.	iv - في الألياف البصرية امتصاص المواد هي الطاقة البصرية التي يتم تحويلها على نحو فعال لتبديد الحرارة داخل الألياف.

8.6.1 Absorption is Caused by Three Different Mechanisms

1.6.8 ثلاث آليات مختلفة تسبب الامتصاص

1) Absorption by **atomic defects** in glass composition.

1)الامتصاص بواسطة **العيوب الذرية** في تكوين الزجاج.

2) **Intrinsic absorption** by basic constituent atom of fiber.
Caused by interaction with one or more of the components of the glass.

2) **امتصاص داخلي** من قبل الذرة الأساسية المكونة منها الألياف.
الناجم عن التفاعل مع واحد أو أكثر من مكونات الزجاج.

3) **Extrinsic absorption** by impurity atoms in glass matts.

3) **امتصاص خارجي** بواسطة ذرات الشوائب الموجودة داخل مادة الزجاج.

8.6.1.1 Absorption by Atomic Defects

1.1.6.8 الامتصاص بواسطة العيوب الذرية

• Atomic defects are imperfections in the atomic structure of the fiber materials such as missing molecules, high density clusters of atom groups. These absorption losses are negligible compared with intrinsic and extrinsic losses.

• العيوب الذرية هي عيوب في التركيب الذري لمواد الألياف مثل الجزيئات المفقودة، مجموعات عالية الكثافة من مجموعات الذرة.

هذه خسائر الامتصاص لا تذكر بالمقارنة مع الخسائر الجوهرية والخارجية.

• The absorption effect is most significant when fiber is exposed to ionizing radiation in nuclear reactor, medical therapies, space missions etc.

• تأثير الامتصاص هو الأكثر أهمية عندما تتعرض الألياف للإشعاع المؤين في المفاعل النووي، والعلاجات الطبية، والبعثات الفضائية الخ.

The radiation dames the internal structure of fiber.

يتميز الإشعاع بالتركيب الداخلي للألياف.

The damages are proportional to the intensity of ionizing particles.

الأضرار تتناسب مع شدة الجسيمات المؤينة.

This results in increasing attenuation due to atomic defects and absorbing optical energy.

وهذا يؤدي إلى زيادة التوهين بسبب العيوب الذرية وامتصاص الطاقة الضوئية.

The total dose a material receives is expressed in rad (Si), this is the unit for measuring radiation absorbed in bulk silicon.

ويعبر عن الجرعة الكلية التي تتلقاها المادة في راد (Si)، وهي وحدة قياس الإشعاع الممتص في كتلة السيليكون .

1 rad (Si) = 0.01 J.kg

The higher the radiation intensity more the attenuation as shown in Fig. **8.3**

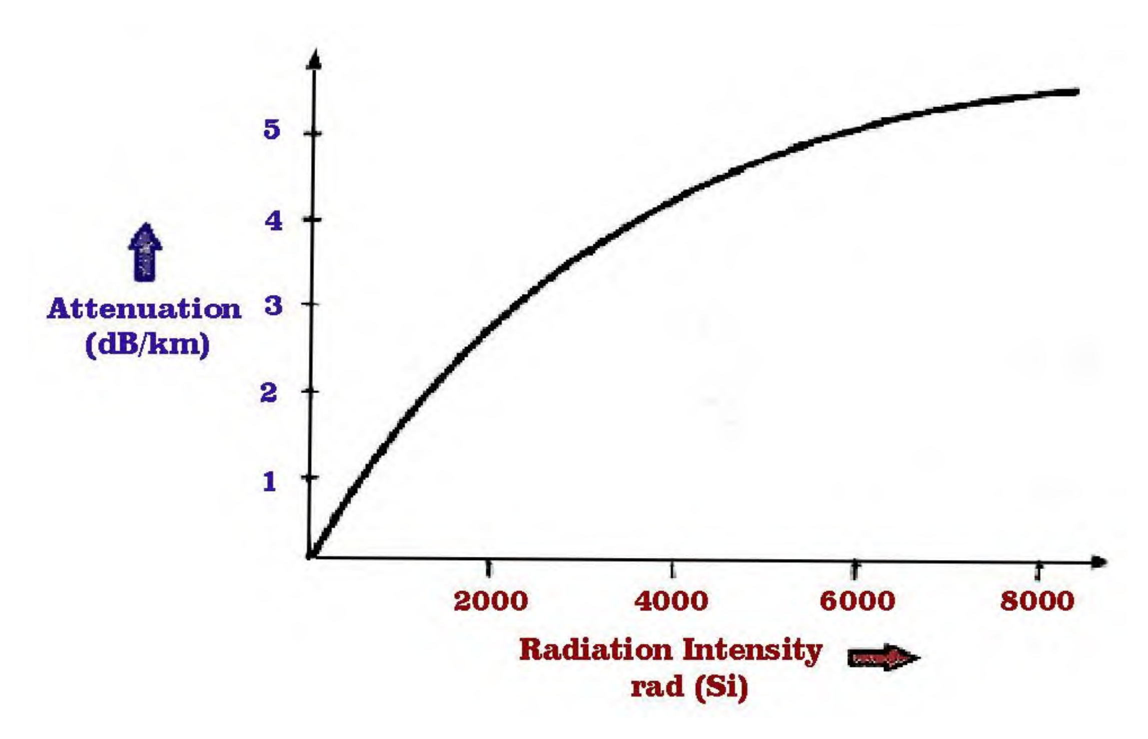


Figure 8.3: Ionizing radiation intensity Vs fiber attenuation

8.6.1.2 Intrinsic Absorption
2.1.6.8 الامتصاص الداخلي

Intrinsic Absorption 1

الامتصاص الداخلي 1

Less significant than extrinsic absorption. For a pure (no impurities) silica fiber a low loss window exists between 800 nm and 1600 nm.

أقل أهمية من الامتصاص الخارجي. للحصول على نقاء ألياف السيليكا (لايوجد شوائب) توجد نافذة خسارة منخفضة بين 800 نانومتر و 1600 نانومتر.

1-Graph shows attenuation spectrum for pure silica glass.

1-الرسم البياني يبين طيف التوهين لزجاج السيليكا النقي.

2-Intrinsic absorption is very low compared to other forms of loss.

2-الامتصاص الداخلي منخفض جدا بالمقارنة مع أشكال أخرى من الخسائر.

3-It is for this reason that fibers are silica and optical communications systems work between about 800 to 1600 nm.

3-لهذا السبب أن الألياف السيليكا ونظم الاتصالات البصرية تعمل بين حوالي 800 إلى 1600 نانومتر.

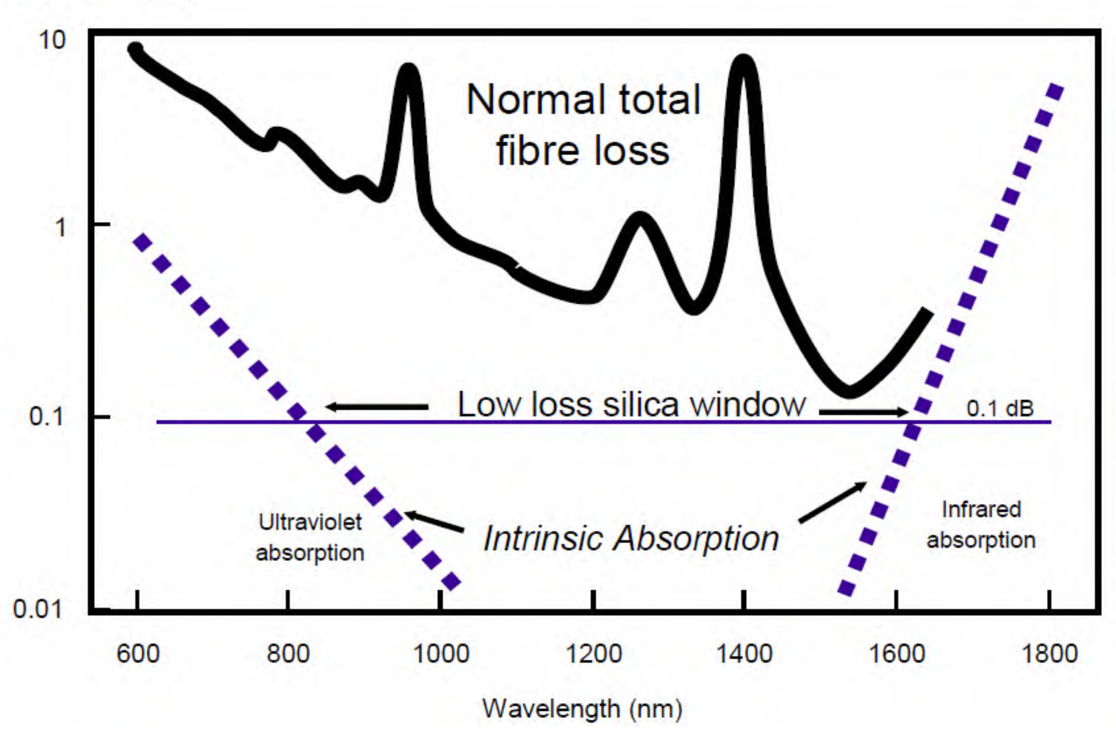


Figure 8.4: Shows loss of absorption in optical fibers.

Intrinsic Absorption 2

الامتصاص الداخلي 2

- Intrinsic absorption in the ultraviolet region is caused by electronic absorption bands. Basically, absorption occurs when a light particle (photon) interacts with an electron and excites it to a higher energy level.
- The main cause of intrinsic absorption in the infrared region is the characteristic vibration frequency of atomic bonds. In silica glass, absorption is caused by the vibration of silicon-oxygen (Si-O) bonds.

The interaction between the vibrating bond and the electromagnetic field of the optical signal causes intrinsic absorption. Light energy is transferred from the electromagnetic field to the bond.

- يحدث الامتصاص الداخلي في المنطقة فوق البنفسجية بواسطة نطاقات الامتصاص الإلكترونية.

في الأساس، يحدث الامتصاص عندما يتفاعل جسيم ضوئي (فوتون) مع إلكترون ويثيره إلى مستوى طاقة أعلى.

- السبب الرئيسي للامتصاص الجوهري (الداخلي) في منطقة الأشعة تحت الحمراء هو تردد اهتزاز مميز من النطاقات الذرية. في زجاج السيليكا، والامتصاص هو سبب الاهتزاز من نطاقات السيليكون والأكسجين (Si-O).

التفاعل بين نطاق الاهتزازية والحقل الكهرومغناطيسي للإشارة الضوئية يسبب امتصاص داخلي.

يتم نقل الطاقة الضوئية من المجال الكهرومغناطيسي إلى النطاق.

8.6.2.3 Extrinsic Absorption (metallic ions)

3.2.6.8 امتصاص خارجي (أيونات معدنية)

1) Extrinsic absorption is much more significant than intrinsic.
2) Caused by impurities introduced into the fiber material during manufacture
   – Iron, nickel, and chromium
3) Caused by transition of metal ions to a higher energy level.

1) امتصاص خارجي هو أكثر أهمية بكثير من الامتصاص الجوهري (الداخلي).
2) الناجمة عن الشوائب التي أدخلت على مادة الألياف أثناء التصنيع
   مثل - الحديد والنيكل والكروم
3) نتج عن انتقال أيونات المعادن إلى مستوى طاقة أعلى.

4) Modern fabrication techniques can reduce impurity levels below 1 part in 10^{10}.

4) تقنيات التصنيع الحديثة يمكن أن تقلل من مستويات الشوائب أقل من 1 جزء في 10^{10}.

5) For some of the more common metallic impurities in silica fiber the table shows the peak attenuation wavelength and the attenuation caused by an impurity concentration of 1 in 10^{9}.

5) بالنسبة لبعض الشوائب المعدنية الأكثر شيوعا في ألياف السيليكا حيث يبين الجدول طول موجة توهين الذروة والتوهين الناجم عن تركيز الشوائب من 1 في 10^{9}.

Table 8.1: shows the peak attenuation wavelength.

	Peak wavelength (nm)	One part in 10^9 ($dB\,km^{-1}$)
Cr^{3+}	625	1.6
C^{2+}	685	0.1
Cu^{2+}	850	1.1
Fe^{2+}	1100	0.68
Fe^{3+}	400	0.15
Ni^{2+}	650	0.1
Mn^{3+}	460	0.2
V^{4+}	725	2.7

Extrinsic Absorption (OH ions)

امتصاص خارجي (أيون OH)

•Extrinsic absorption caused by dissolved water in the glass, as the hydroxyl or OH ion.

• الامتصاص الخارجي الناجم عن الماء الذائب في الزجاج، مثل الهيدروكسيل أو أيون OH.

•In this case absorption due to the same fundamental processes (between 2700 nm and 4200 nm) gives rise to so called absorption overtones at 1380,950 and 720

• في هذه الحالة الامتصاص بسبب نفس العمليات الأساسية (بين 2700 نانومتر و 4200 نانومتر) ويؤدي إلى ما يسمى إبعاد الامتصاص في 1380و950و720 نانومتر.

nm.

•Typically a 1 part per million impurity level causes 1 dB/km of attenuation at 950 nm. Typical levels are a few parts per billion.

• عادة ما يؤدي جزء واحد لكل مليون من مستوى الشوائب إلى 1 ديسيبل / كم من التوهين عند 950 نانومتر. المستويات النموذجية هي أجزاء قليلة لكل مليار.

Silica السيليكا

Narrow windows circa 800, 1300 nm and 1550 nm exist which are unaffected by this type of absorption.

نوافذ ضيقة حوالي 800، 1300 نانومتر و 1550 نانومتر موجودة والتي لا تتأثر بهذا النوع من الامتصاص.

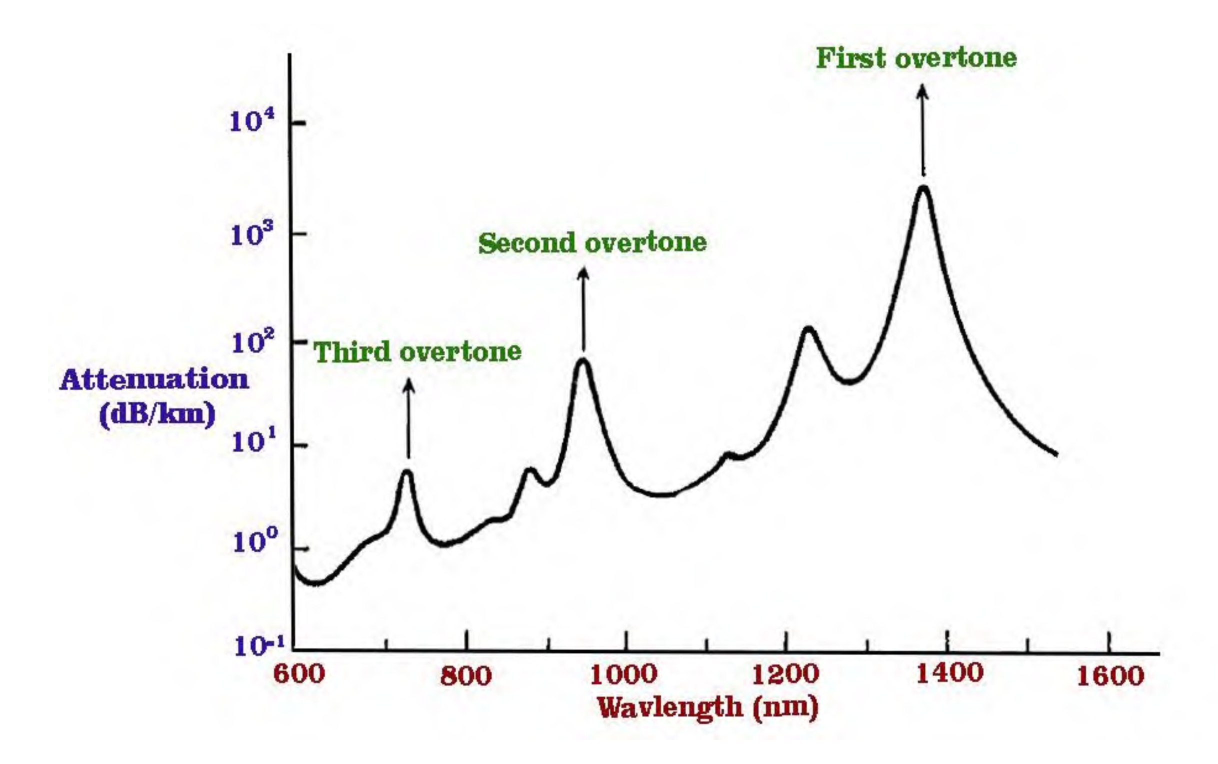


Figure 8.5: The windows are not affected by the absorption in silica.

8.7 Scattering Losses in Fiber

7.8 خسائر الاستطارة في الألياف

- Scattering is a process whereby all or some of the optical power in a mode is transferred into another mode.
- Frequently causes attenuation, since the transfer is often to a mode which does not propagate well. (also called a leaky or radiation mode).

• الاستطارة هو عملية يتم فيها نقل كل أو بعض القدرة البصرية من نمط إلى نمط آخر.

• غالبا ما يسبب التوهين، لأن النقل غالبا ما يكون بوضع لا ينتشر بشكل جيد. (وتسمى أيضا وضع الترشيح أو الإشعاع).

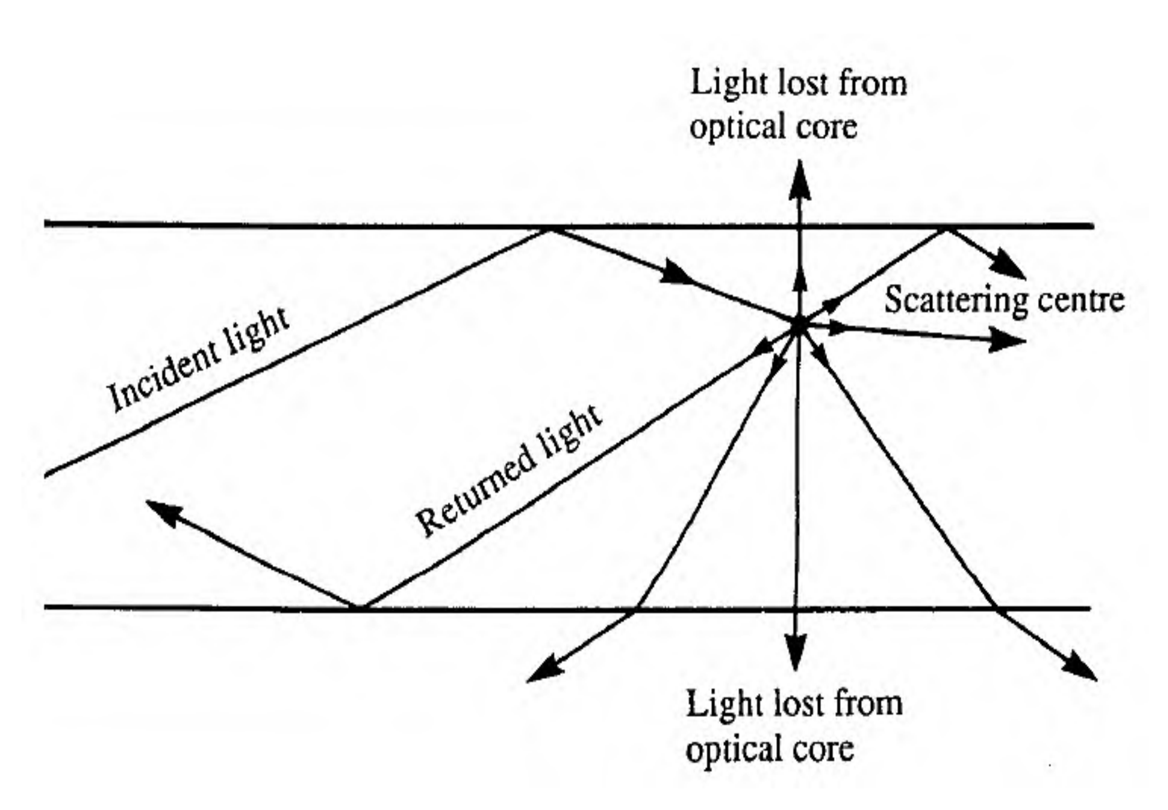


Figure 8.6: show Scattering Losses in Fiber

Types of Scattering Loss in Fiber	**أنواع فقدان الاستطارة في الألياف**
1-Two basic types of scattering exist: **a-Linear scattering**: Rayleigh and Mie. **b- Non-linear scattering:** Stimulated Brillouin and Stimulated Raman. 2-Rayleigh is the dominant loss mechanism in the low loss silica window between 800 nm and 1700 nm. 3-Raman scattering is an important issue in Dense WDM systems.	1 - يوجد نوعان أساسيان من الاستطارة: a- الاستطارة الخطية: رايلي ومي b- الاستطارة غير الخطية: تحفيز بريلوين وتحفيز رامان. 2- استطارة رايلي هي آلية الخسارة المهيمنة في نافذة السيليكا منخفضة الخسارة بين 800 نانومتر و 1700 نانومتر. 3- استطارة رامان مشكلة هامة في أنظمة WDM الكثيفة.

Rayleigh scattering (I)	**استطارة رايلي (I)**
1-Dominant scattering mechanism in silica fibers.	1- آلية الاستطارة المهيمنة في ألياف السيليكا.
2-Scattering causes by inhomogeneities in the glass, of a size smaller than the wavelength.	2- أسباب الاستطارة يكون بسبب عدم التجانس في الزجاج، مع حجم أصغر في الطول الموجي.
3-Inhomogeneities manifested as refractive index variations, present in the glass after manufacture.	3-عدم التجانس يتجلى في اختلافات معامل الانكسار، الموجودة في الزجاج بعد التصنيع.
4-Difficult to eliminate with present manufacturing methods. 5-Rayleigh loss falls off as a function of the fourth power of wavelength:	4- يكون من الصعب التخلص منها بطرق التصنيع الحالية. 5-خسارة رايلي تقل كدالة من القوة الرابعة من الطول الموجي:

Rayleigh loss: $\alpha r = \frac{A_r}{\lambda^4}$ **dB per km** .... **(8.8)**

1-λ in this empirical formula is expressed in microns (μm).

1-λ في هذه الصيغة التجريبية يعبر عنها ميكرون.

2-The Rayleigh scattering coefficient A_r is a constant for a given material.

2 - معامل استطارة رايلي A_r ثابت لكل مادة.

3-For 1550 nm the loss is approximately 0.18 dB per km.

3 - بالنسبة إلى 1550 نانومتر، تكون الخسارة حوالي 0.18 ديسيبل لكل كم.

Rayleigh scattering (II) استطارة رايلي (II)

1-The Rayleigh scattering coefficient A_r depends:

a- The fiber refractive index profile

b- The doping used to achieve a given core refractive index

1- -يعتمد معامل استطارة رايلي A_r على:

أ- ملف معامل الانكسار الليفي.

ب – الشوائب المستخدمة لتحقيق معامل الانكسار الأساسي المعين (مخصص للمادة)

2-For a step index germanium doped fiber A_r is given by:

2- للحصول على معامل خطوة الجرمانيوم المشوب للألياف A_r تعطى من قبل:

$$A_r = 0.63 + 2.06 \cdot NA \quad dB/km \qquad .... (8.9)$$

For a graded index near-parabolic profile fiber A_r is given by:

للحصول على شبه معامل متدرج - مكافئ الألياف للملف A_r تعطى من قبل:

$$A_r = 0.63 + 1.75 \cdot NA \quad dB/km \qquad .... (8.10)$$

Example 8.7: Graded index fiber with a numerical aperture of 0.275 operating at 1330 nm. How much is the Rayleigh scattering loss?
The answer approximately 0.36 dB/km.

مثال: ألياف بصرية ذات معامل متدرج بفتحة عددية من 0.275 التي تعمل عند 1330 نانومتر، كم تبلغ خسائر استطارة رايلي؟ الجواب: يبلغ 0.36 ديسيبل / كم تقريبا.

Solution:

$$Ar = 0.63 + 1.75 \,.\, NA \quad (dB/km)$$

$$Ar = 0.63 + 1.75 \times 0.275 = 1.11125$$

Rayleigh loss: $\alpha r = \frac{A_r}{\lambda^4}$ **dB per km**

$$\alpha r = \frac{1.11125}{(1330\ X\ 10^{-9})^4} = \frac{1.11125}{3.129\ X\ 10^{-24}}$$

$$\alpha r \cong 0.36 \text{ dB/km.}$$

Rayleigh-type Scattering **من انواع الاستطارة - استطارة رايلي**

* The equations that describe the scattering are:
.For scattering arising from density fluctuations

* المعادلات التي تصف الاستطارة هي:
لارتفاع الاستطارة حسب تردد الكثافة.

$$\alpha_{scat} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4}\left(n^2-1\right)^2 k_B T_f \beta_T \qquad \text{.......... (8.11)}$$

For multicomponent glasses the scattering is:

بالنسبة للزجاج متعددة المكونات فإن التشتت هو:

$$\alpha_{scat} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4}\left(\partial n^2\right)^2 \partial \bar{V} \qquad \text{.......... (8.12)}$$

$$\left(\partial n^2\right)^2 = \left(\frac{\partial n}{\partial \rho}\right)^2 (\partial \rho)^2 + \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial n^2}{\partial C_i}\right)(\partial C_i)^2 \qquad \text{.......... (8.13)}$$

k_B is Boltzmann constant.	k_B هو ثابت بولتزمان.
T_f temperature at which density fluctuations are frozen.	T_f درجة الحرارة عندما يتم تغير الكثافة بالتجميد.
β_T is the compressibility of the material.	β_T هو انضغاط المادة.
$\partial\rho$ is the density fluctuation.	$\partial\rho$ هو تغير الكثافة.
∂ Ci is the fluctuation of the concentration of the i^{th} element,	∂ هو تغير تركيز عنصر i^{th} ،

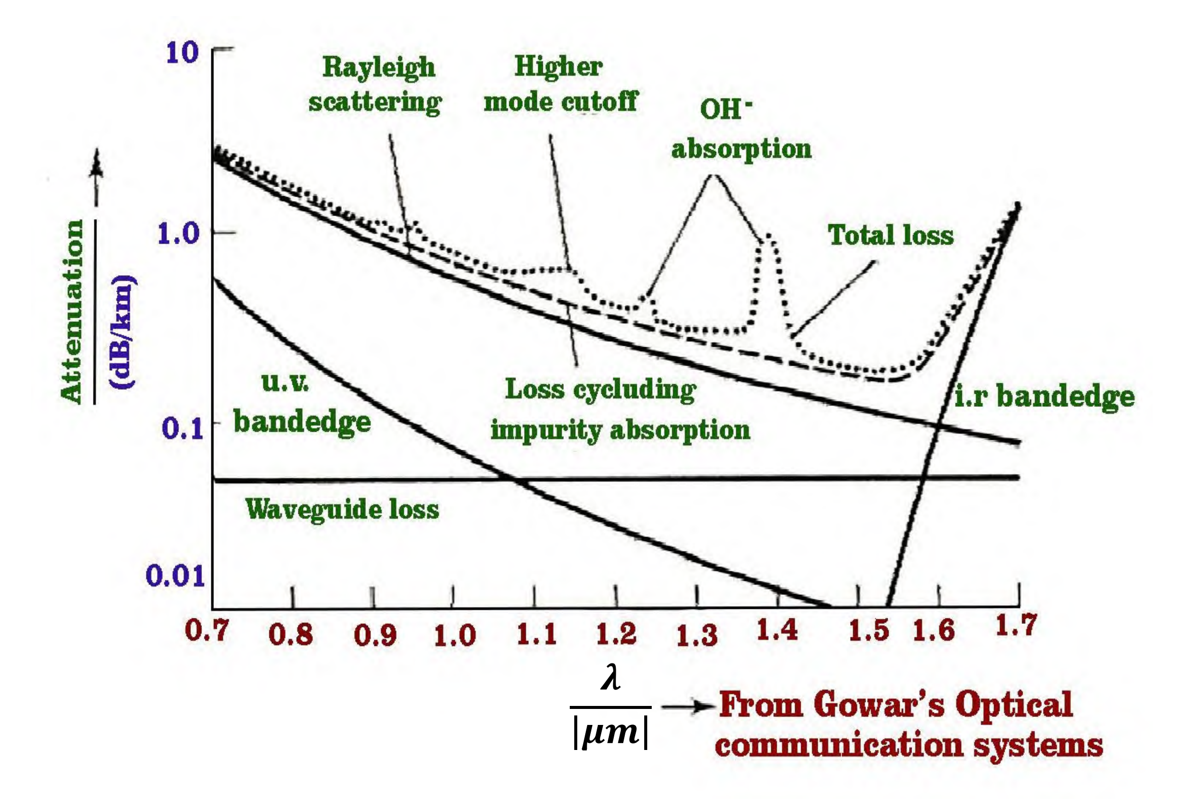


Figure 8.7: Show Rayleigh-type Scattering.

As a rule of thumb:	شئ متعارف عليه:
•At 1310nm: 0.5dB/km	• في 1310 نانومتر: 0.5 ديسيبل/كيلومتر
•At 1550nm: 0.3dB/km	• في 1550 نانومتر: 0.3 ديسيبل/كيلومتر

8.8 Total Fiber Attenuation and Developments

8.8 مجموع توهين الألياف وتطوراتها

1-Measured total attenuation characteristic shows that the loss is dominated by extrinsic absorption loss and scattering.

1 - توضح خاصية التوهين الكلي المقيسة أن مجموع الخسارة تهيمن عليها خسارة الامتصاص الخارجية و الاستطارة.

2-Attenuation falls with increasing wavelength, so that the loss at 1550 nm is only about 0.25 dB/km, compared to about 2.5 dB/km at 850 nm.

2 - يقل التوهين مع زيادة الطول الموجي، بحيث تكون الخسارة عند 1550 نانومتر فقط حوالي 0.25 ديسيبل/ كم , مقابل حوالي 2.5 ديسيبل/ كم عند 850 نانومتر.

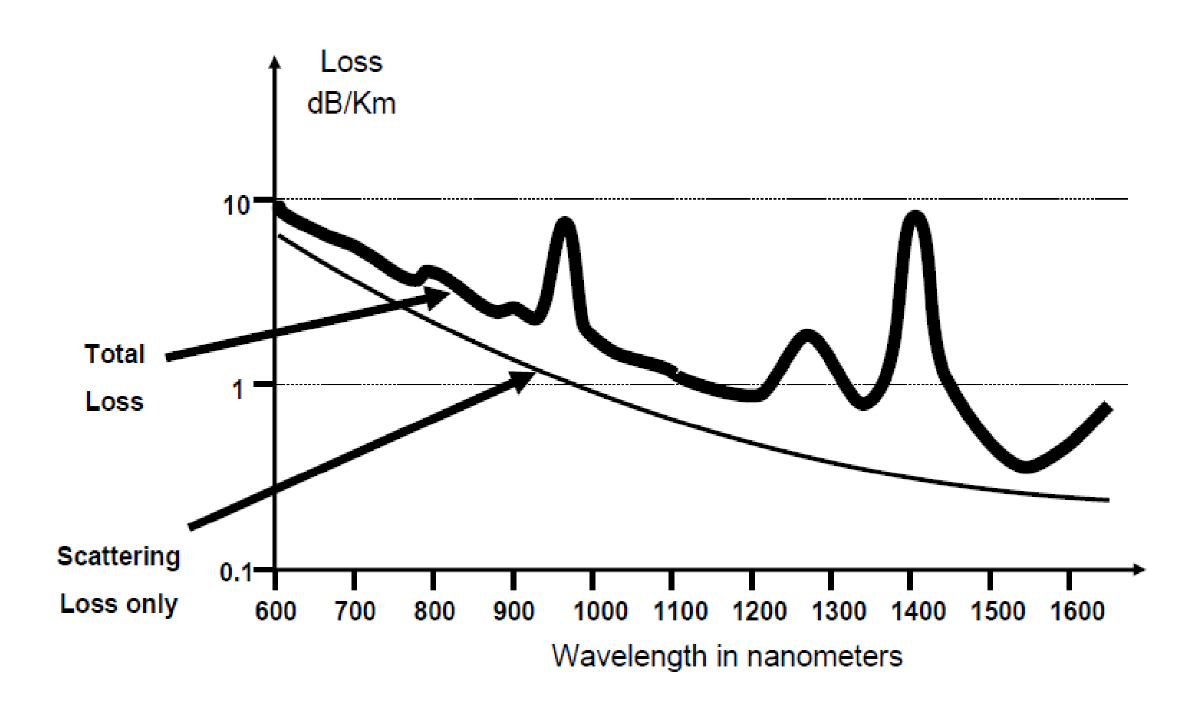


Figure 8.8: Demonstrates the relationship between attenuation (total loss and scattering loss) and wavelength.

8.9 Transmission Windows

1-Three low loss transmission windows exist circa 850, 1320, 1550 nm.

2-Earliest systems worked at 850 nm, latest systems at 1550.

9.8 نوافذ الارسال

1-ثلاثة نوافذ ارسال منخفضة الخسائر موجودة حوالي 850، 1320، 1550 نانومتر.

2-أقدم النظم عملت في 850 نانومتر، أحدث النظم في 1550.

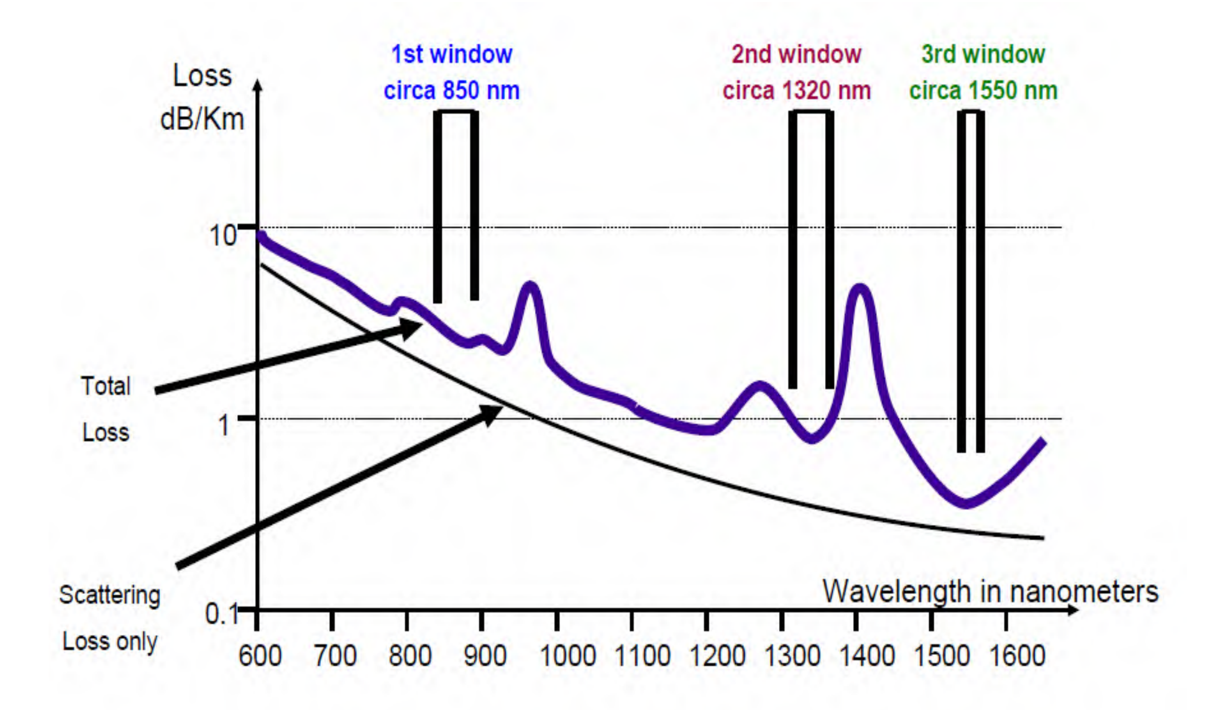


Figure 8.9: Shows the windows of the Transmission.

8.10 Broadband Fiber

1-Traditional manufacturing methods leave residual OH ions in the glass, result is absorption peaks, "locking-off" sections of the available spectrum.

2-New process virtually removes all residual OH ions.

10.8 الألياف ذات النطاق العريض

1-أساليب التصنيع التقليدية تترك رواسب من أيونات (OH) في الزجاج، والنتيجة هي قمم امتصاص، لأجزاء الطيف المتاحة.

2-العمليات الجديدة تزيل تقريبا جميع الأيونات المتبقية من (OH).

3-Process involves a new way of making the optical fiber preform.

3- تتطلب العمليات على طريقة جديدة لتشكيل الألياف البصرية.

4-Opens up the spectrum circa 1383 nm, the OH peak.

4-يكشف عن طيف قمة (OH) حوالي 1383 نانومتر.

5-Loss at 1383 nm is < 0.31 dB/km.

5-خسارة في 1383 نانومتراقل من0.31 ديسيبل / كم.

6-Important implications for Dense Wavelength Division Multiplexing.

6 - آثار هامة على تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي المتعدد.

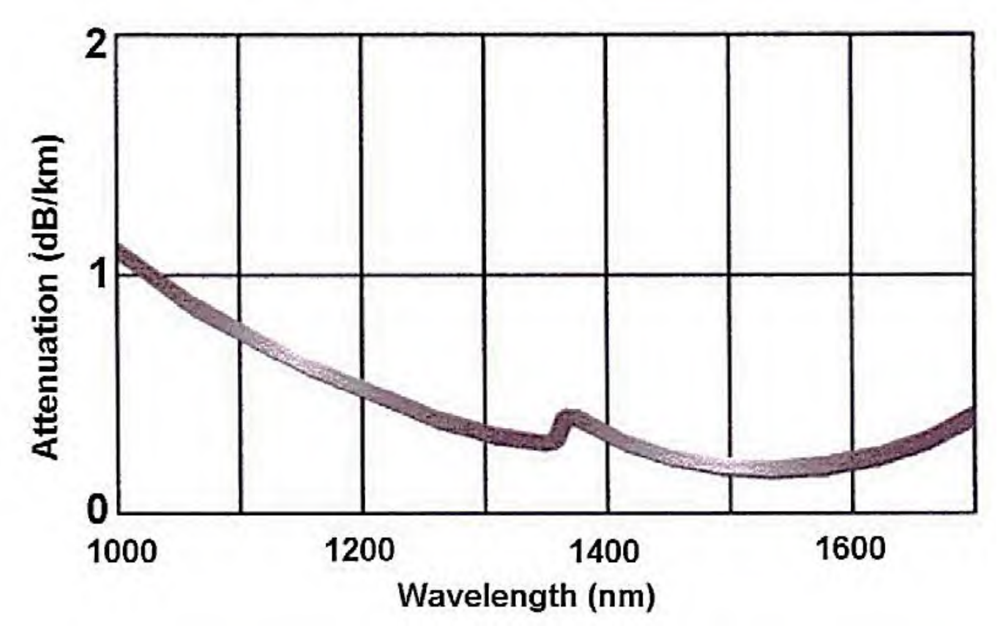


Figure 8.10: Demonstrates the relationship between attenuation and wavelength.

8.11 Ultra-low Attenuation Fiber

11.8 اقل توهين ممكن للالياف

1-Minimum attenuation circa 1550 nm is 0.2 dB/km at present.

1-الحد الأدنى للتوهين في نافذة 1550 نانومتر حوالي 0.2 ديسيبل / كم في الوقت الحاضر.

2-Corning SMF28 ULL (Ultra low loss) is 0.17-0.18 dB/km at 1550nm.

2-كورنينغ SMF28 ULL (خسارة منخفضة جدا) هو 0.17 - 0.18 ديسيبل/كم في نافذة 1550 نانومتر.

3-Future moves to longer wavelengths are being researched, 0.01 dB/KM possible in future (2500 nm).

3 - يجري البحث في الاعمال المستقبلية إلى أطوال موجية أطول، يمكن أن تبلغ الخسائر0.01 ديسيبل/كم في المستقبل لنافذة (2500 نانومتر).

4-Present state of the art at longer wavelengths is greater than ten times the theoretical value.

4-اعلن حالياً من تصميم أطوال موجية أطول من عشرة أضعاف القيمة النظرية.

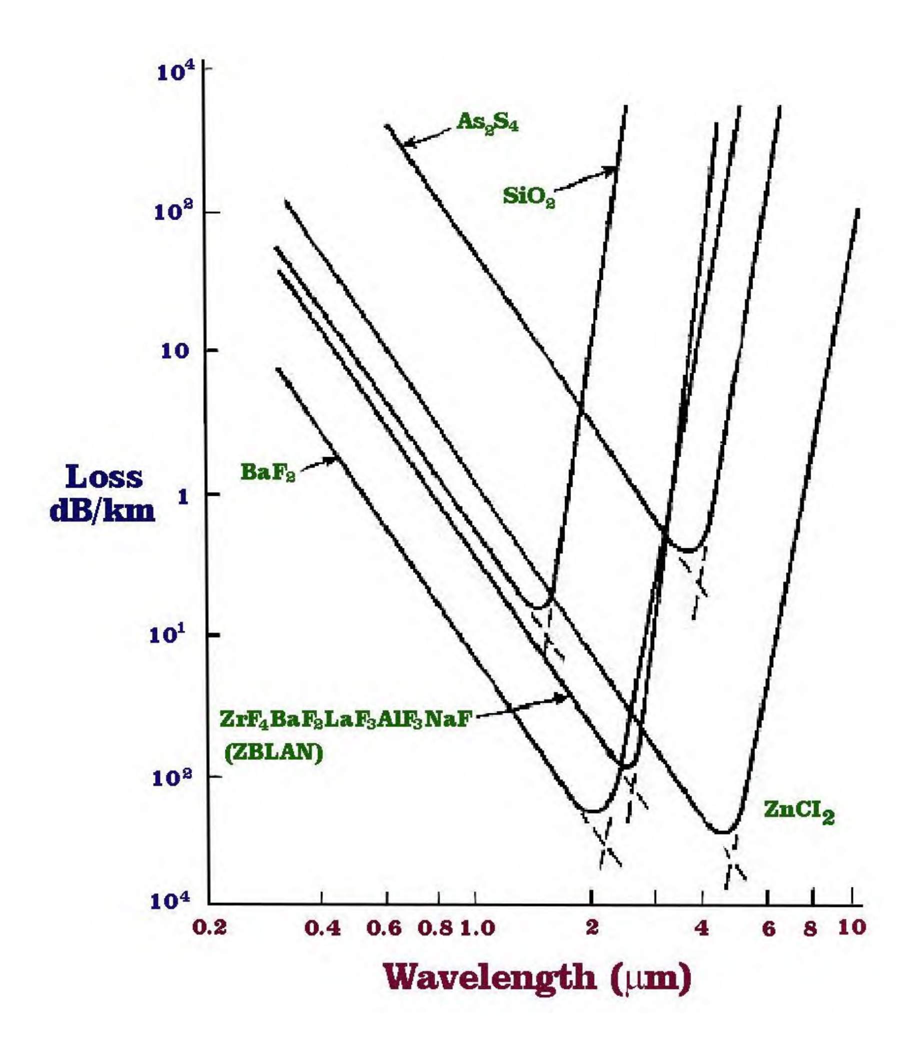


Figure 8.11: Demonstrates the loss of certain materials. ZBLAN-Zirconium-Fluoride Barium-Fluoride Lanthanum-Fluoride Aluminum-Fluoride Sodium-Fluoride.

8.12 Bending Loss	12.8 خسارة الانحناء
• Losses due to curvature and losses caused by an abrupt change in radius of curvature are referred to as 'bending losses.'	• الخسائر الناجمة عن الانحناء والخسائر الناجمة عن التغير المفاجئ في نصف القطر الانحناء يشار إليها "خسائر الانحناء".
• The sharp bend of a fiber causes significant radiative losses and there is also possibility of mechanical failure. This is shown in Fig. 8.12.	• الانحناء الحاد للألياف يسبب خسائر إشعاعية كبيرة وهناك أيضا إمكانية فشل ميكانيكي. كما هو مبين في الشكل 12.8.

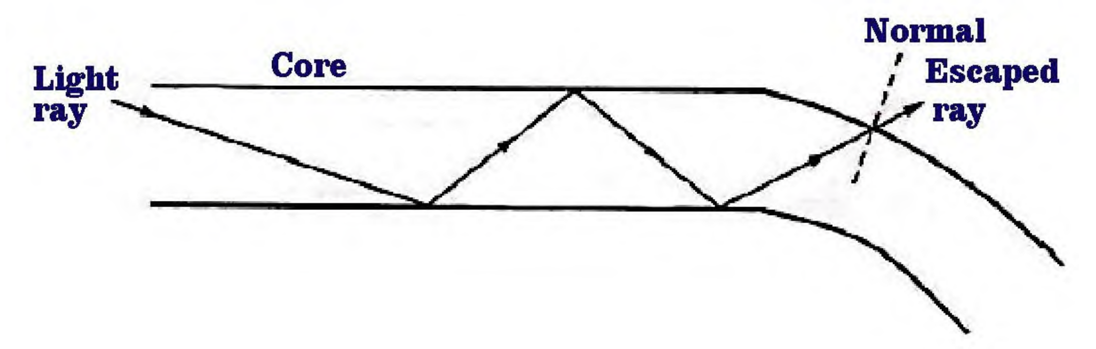


Figure 8.12: illustrates Bending loss.

• As the core bends the normal will follow it and the ray will now find itself on the wrong side of critical angle and will escape. The sharp bends are therefore avoided.

• في الانحناءات الطبيعية للب الليف البصري سوف يتبع الشعاع مسيرته لكن عند زيادة قيمة الانحناء سوف يسير الشعاع على الجانب الخطأ من زاوية حرجه ويؤدي الى هروب الشعاع. ولذلك يتم تجنب الانحناءات الحادة.

• The radiation loss from a bent fiber depends on –

• خسارة الإشعاع في ألياف المنحنية تعتمد على -

i) Field strength of certain critical distance xc from fiber axis where power is lost through radiation.

1) شدة المجال لمسافة حرجة معينة xc من محور الألياف حيث تفقد القدرة من خلال الإشعاع.

ii) The radius of curvature R.

2) نصف قطر الانحناء R.

• The higher order modes are less tightly bound to the fiber core, the higher order modes radiate out of fiber firstly.

• انماط اضافية أعلى هي أقل تقييدا بإحكام الى لب الليف، انماط اضافية أعلى يشع أولاً من الالياف.

• For multimode fiber, the effective number of modes that can be guided by curved fiber is given expression:

•لألياف متعددة الانماط، تعطى عدد فعال من الانماط التي يمكن أن توجه الألياف المنحنية ويعطي التعبيركالاتي:

$$N_{eff} = N_{\infty}\left\{1 - \frac{\alpha+2}{2\alpha\Delta}\left[\frac{2a}{R} + \left(\frac{2}{2\,n_2\,k\,R}\right)^{2/3}\right]\right\} \quad \text{.......... (8.14)}$$

Where,

α is graded index profile.

Δ is core – cladding index difference.

n_2 is refractive index of cladding.

$$K = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$$

k is wave propagation constant .

N_{∞}: is total number of modes in a straight fiber.

$$N_{\infty} = \frac{\alpha}{\alpha+2}(n_1\,k\,a)^2\Delta \quad \text{.......... (8.15)}$$

8.12.1 Microbending

1.12.8 الانحناء الجزئي

• Microbending is a loss due to small bending or distortions. This small microbending is not visible. The losses due to this are temperature related, tensile related or crush related.

• الانحناء الجزئي هو خسارة بسبب الانحناءات الصغيرة أو التشوهات. هذا الانحناء الجزئي الصغيرة غير مرئية. والخسائر الناجمة عن ذلك تتعلق بدرجة الحرارة، أو ذات صلة بالشد أو السحق (الكسر).

• The effects of microbending on multimode fiber can result in increasing attenuation (depending on wavelength) to a series of periodic peaks and troughs on the spectral attenuation curve. These effects can be minimized during installation and testing. Fig. 8.13 illustrates microbening.

• يمكن أن تؤدي تأثيرات الإنحناء الجزئي على الألياف متعددة الأنماط إلى زيادة التوهين (تبعا لطول الموجة) إلى سلسلة من القمم والقعر الدورية على منحنى التوهين الطيفي. يمكن تقليل هذه التأثيرات أثناء التركيب والاختبار. وفي الشكل 13.8 يوضح الانحناء الجزئي.

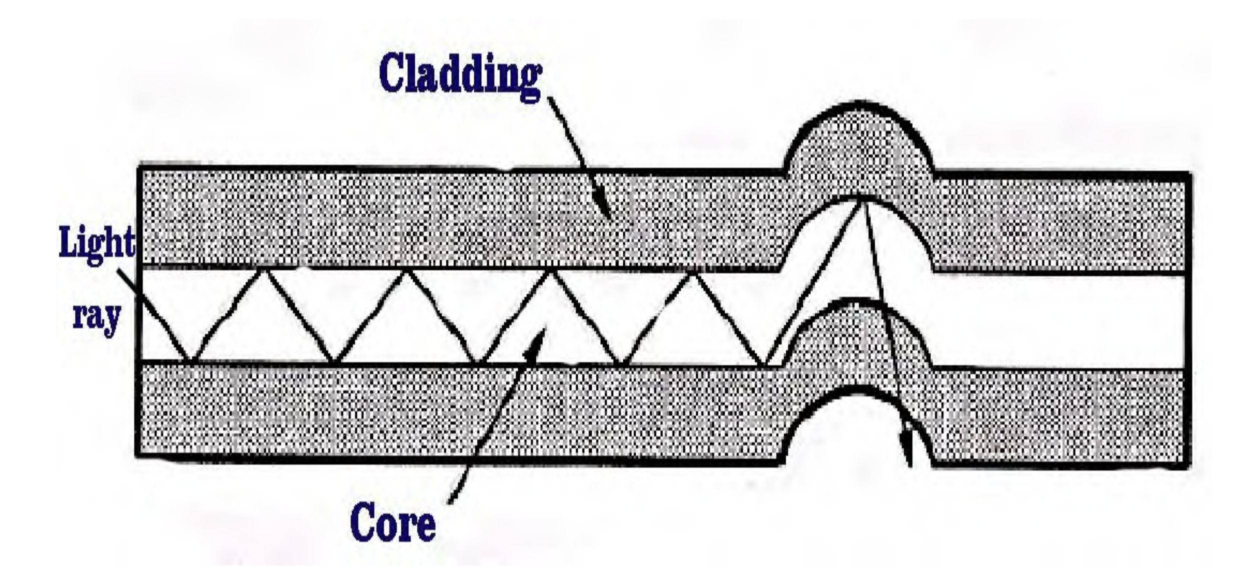


Figure 8.13: illustrates Microbending.

8.12. 2 Macrobending

2.12.8 الانحناء الكلي

- The change in spectral attenuation caused by macrobending is different to microbending. Usually there are no peaks and troughs because in a macrobending no light is coupled back into the core from the cladding as can happen in the case of microbends.

- التغير في التوهين الطيفي الناجم عن الإنحناء الكلي يختلف عن الإنحناء الجزئي. عادة لا توجد قمم وقعر لأنه في الانحناء الكلي لا ضوء يقترن مرة أخرى إلى اللب من الكسوة كما يمكن أن يحدث في حالة الإنحناء الجزئي.

- The macrobending losses are cause by large scale bending of fiber. The losses are eliminated when the bends are straightened. The losses can be minimized by not exceeding the long term bend radii. Fig. 8.14 illustrates macrobending.

- سبب خسائر الانحناء الكلي من خلال الانحناء على نطاق واسع من الألياف. يتم حذف الخسائر عندما يتم تقويم الانحناءات. ويمكن تقليل الخسائر إلى الحد الأدنى من خلال عدم تجاوز انحناء الشعاع على المدى الطويل. الشكل 14.8 يوضح الانحناء الكلي.

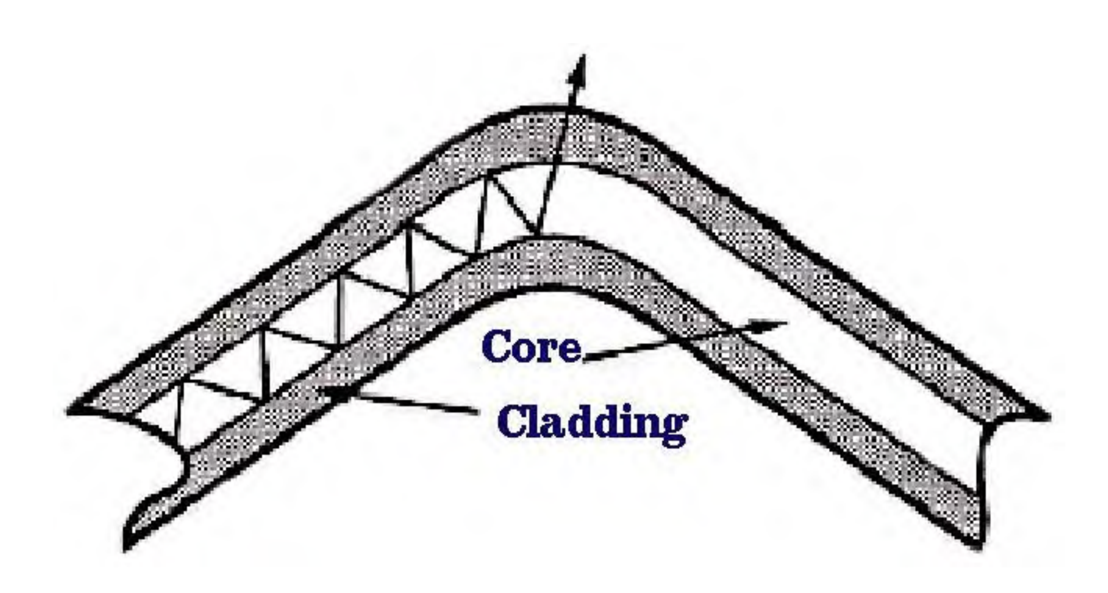


Figure 8.14: illustrates Macrobending.

8.13 Core and Cladding Loss

13.8 خسائر اللب والكسوة

• Since the core and cladding have different indices of refraction hence they have different attenuation coefficients α_1 and α_2 respectively.

· بما أن اللب والكسوة لهما مؤشرات انكسار مختلفة، فإن لهما معاملات توهين مختلفة α_1 و α_2 على التوالي.

• For step index fiber, the loss for a mode order (v, m) is given by:

• للحصول على الألياف مؤشر الخطوة، وتعطى خسارة ترتيب النمط (v, m) من قبل:

$$\alpha_{v\,m} = \alpha_1 \frac{P_{core}}{P} + \alpha_2 \frac{P_{cladding}}{P} \qquad \text{.......... (8.16)}$$

For low-order modes, the expression reduced to

$$\alpha_{v\,m} = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_1) \frac{P_{cladding}}{P} \qquad \text{.......... (8.17)}$$

Where, $\frac{P_{core}}{P}$ and $\frac{P_{cladding}}{P}$ are fractional powers.

• for graded index fiber, loss at radial distance is expressed as,

$$\alpha(r) = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{n^2(0) - n^2(r)}{n^2(0) - n_2^2} \qquad \text{.......... (8.18)}$$

The loss for a given mode is expressed by,

$$\alpha_{Graded\ Index} = \frac{\int_0^\infty \alpha(r)\, P(r)\, r\, dr}{\int_0^\infty P(r)\, r\, dr} \qquad \text{.......... (8.19)}$$

Where, P(r) is power density of that model at radial distance r.

8.14 Signal Distortion in Optical Waveguide

14.8 تشويه الإشارة في الدليل الموجي البصري

- The pulse gets distorted as it travels along the fiber lengths. Pulse spreading in fiber is referred as dispersion.

- تشوه النبضة أثناء سيرها على طول أمتداد الألياف. يشار إلى انتشار النبض في الألياف على أنه تشتت.

Dispersion is caused by difference in the propagation times of light rays that takes different paths during the propagation.

ويتسبب التشتت بسبب الاختلاف في أوقات انتشار أشعة الضوء التي تأخذ مسارات مختلفة أثناء الانتشار.

The light pulses travelling down the fiber encounter dispersion effect because of this the pulse spreads out in time domain. Dispersion limits the information bandwidth.

نبضات الضوء تسير إلى أسفل الألياف تأثير تشتت واجه بسبب انتشار النبض خارج النطاق الزمني. التشتت يحد من عرض نطاق المعلومات.

The distortion effects can be analyzed by studying the group velocities in guided modes.

ويمكن تحليل آثار التشويه من خلال دراسة سرعات المجموعة في الوسائط الموجهة.

8.15 Information Capacity Determination

15.8 تحديد قدرة المعلومات

- Dispersion and attenuation of pulse travelling along the fiber is shown in Fig. 8.15.

- يبين الشكل 15.8 تشتت وتوهين النبضة التي تسير على طول الألياف.

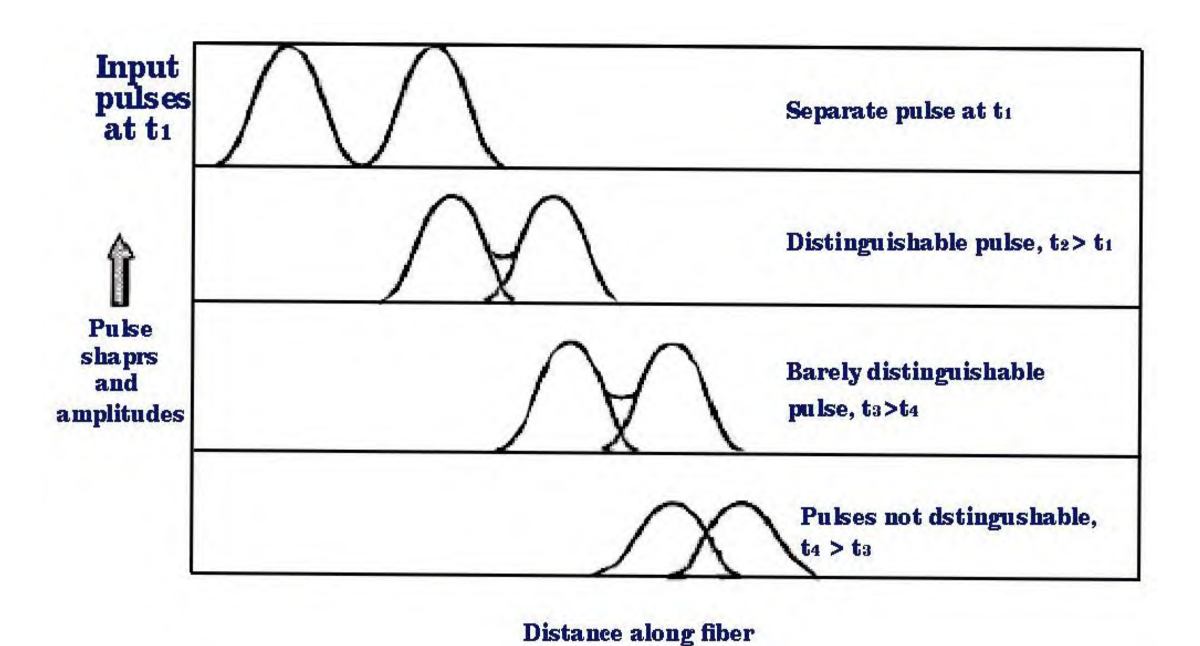


Figure 8.15: Dispersion and attenuation in fiber.

$$\delta\tau = \frac{d\tau}{d\lambda} x\, \delta\lambda \qquad \text{..........} \quad (8.20)$$

where, $\delta\tau$ = Wavelength difference between upper and lower sideband (spectral width)

$\frac{d\tau}{d\lambda}$ = Dispersion coefficient (D)

Then, $D = \frac{1}{L} \cdot \frac{d\tau}{d\lambda}$ where, L is length of fiber.

$$D = \frac{d}{d\lambda}\left(\frac{1}{V_g}\right)$$

As $\tau = \frac{1}{V_g}$ and considering unit length $L = 1$.

Now

$$\frac{1}{V_g} = \frac{d\beta}{d\omega}$$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{d\lambda}{d\omega} x \frac{d\beta}{d\lambda}$$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{-\lambda^2}{2\pi c} x \frac{d\beta}{d\lambda}$$

$$\therefore \quad D = \frac{d}{d\lambda}\left(\frac{-\lambda^2}{2\pi c}.\frac{d\beta}{d\lambda}\right) \qquad \text{.......... (8.21)}$$

• Fig. 8.15 shows, after travelling some distance, pulse starts broadening and overlap with the neighboring pulses.
At certain distance the pulses are not even distinguishable and error will occur at receiver.
Therefore the information capacity is specified by bandwidth-distance product (MHz . km). For step index bandwidth distance product is 20 MHz . km and for graded index it is 2.5 MHz . km.

• في الشكل 15.8 يظهر ، بعد مسيرة لمسافة قصيرة ، تبدأ النبضة بالتوسع وتداخل مع النبضات المجاورة.

وعلى مسافة معينة، لا يمكن تمييز النبضات حتى وإن حدث خطأ عند المستقبِل.

ولذلك تحدد قدرة المعلومات على نتيجة مسافة عرض النطاق (ميكاهرتز.كيلومتر). لمؤشر الخطوة مسافة عرض النطاق الترددي هو (20 ميكاهرتز. كيلومتر) وبالنسبة للمؤشر المتدرج هو (2.5 ميكاهيرتز. كيلومتر).

8.16 Group Delay

16.8 تأخير المجموعة

• Consider a fiber cable carrying optical signal equally with various modes and each mode contains all the spectral components in the wavelength band.

• اعتبران كابل الألياف يحمل إشارة بصرية بالتساوي مع انماط مختلفة ولكل نمط يحتوي على جميع المكونات الطيفية في نطاق الطول الموجي.

All the spectral components travel independently and they observe different **time delay** and **group delay** in the direction of propagation.

وتسير جميع المكونات الطيفية بشكل مستقل وتلاحظ **تأخير الوقت وتأخير المجموعة** في اتجاه الانتشار.

The velocity at which the energy in a pulse travels along the fiber is known as **group velocity**. Group velocity is given by:

والسرعة التي تسير فيها الطاقة في نبضة على طول الألياف تعرف باسم **سرعة المجموعة**. وتعطى سرعة المجموعة من قبل:

$$V_g = \frac{\partial w}{\partial \beta} \quad .... \quad (8.22)$$

• Thus different frequency components in a signal will travel at different group velocities and so will arrive at their destination at different times, for digital modulation of carrier, these results in dispersion of pulse, which affects the maximum rate of modulation. Let the difference in propagation times for two side bands is $\delta\tau$.

• مكونات الترددات المختلفة سوف تنتقل على شكل إشارة على سرعات مجموعات مختلفة، ومن ثم ستصل إلى وجهتها في أوقات مختلفة، من أجل التضمين الرقمي للناقل، فإن هذه النتائج تؤدي إلى تشتت النبضة، مما يؤثر على المعدل الأقصى للتضمين. ندعو الفرق في أوقات الانتشار لنطاقين جانبيين هو $\delta\tau$.

$$\delta\tau = \frac{d\tau}{d\lambda} x\, \delta\lambda \qquad \text{.......... (8.23)}$$

where, $\delta\tau$ = Wavelength difference between upper and lower sideband (spectral width)

$\frac{d\tau}{d\lambda}$ = Dispersion coefficient (D)

Then, $D = \frac{1}{L} . \frac{d\tau}{d\lambda}$ where, L is length of fiber.

$D = \frac{d}{d\lambda}\left(\frac{1}{V_g}\right)$ As $\tau = \frac{1}{V_g}$ and considering unit length L = 1.

Now $\frac{1}{V_g} = \frac{d\beta}{d\omega}$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{d\lambda}{d\omega} x \frac{d\beta}{d\lambda}$$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{-\lambda^2}{2\pi c} x \frac{d\beta}{d\lambda}$$

$$\therefore \quad D = \frac{d}{d\lambda}\left(\frac{-\lambda^2}{2\pi c} . \frac{d\beta}{d\lambda}\right) \qquad \text{.......... (8.24)}$$

- Dispersion is measured in picoseconds per nanometer per kilometer.

Field Distribution

توزيع المجال

Modes supported by fiber decreases:
Microbending (cabling losses) produces coupling to higher order modes (a) or power loss (b)

دعم الانماط بواسطة تقليل الألياف:
ويؤدي الانحناء الجزئي (خسائر الكابلات) إلى اقتران إلى نمط النظام العالي (a) أو خسارة القدرة (b)

8.17 Dispersion

17.8 تشتت

Dispersion, expressed in terms of the symbol Δt, is defined as pulse spreading in an optical fiber. As a pulse of light propagates through a fiber, elements such as numerical aperture, core diameter, refractive index profile, wavelength, and laser line width cause the pulse to broaden. This poses a limitation on the overall bandwidth of the fiber as demonstrated in figure.

ويعرف التشتت، المعبر عنه بالرمز Δt ، يعرف بأنه انتشار النبضة في الألياف الضوئية. كما ان نبضة الضوء تنتشر من خلال الألياف، عناصر مثل الفتحة العددية، قطر اللب، شكل معامل الانكسار، الطول الموجي، وعرض خط الليزر يسبب نبضه الى التوسيع.وهذا يشكل قيدا على عرض النطاق الكلي للألياف كما هو مبين في الشكل.

What happens to the_shape of an optical pulse_when it travels along the_fiber?

ماذا يحدث لشكل النبض البصري عندما تسير على طول الألياف؟

* The phenomenon in an optical fiber whereby light photons arrive at a distant point in different phase than they entered the fiber.

* الظاهرة في الألياف البصرية حيث تصل الفوتونات الضوئية إلى نقطة بعيدة في مرحلة مختلفة من دخولها الألياف.

*Dispersion causes receive signal distortion that ultimately limits the bandwidth and usable length of the fiber cable.

* تشتت يسبب استلام تشويه الإشارة التي تحد في نهاية المطاف عرض النطاق الترددي وطول صالحة للاستعمال من كابل الألياف.

*The two main causes of dispersion are	* السببان الرئيسيان للتشتت هما
.Material (Chromatic) dispersion .Waveguide dispersion .Intermodal delay (in multimode fibers).	التشتت اللوني للمواد. . تشتت دليل الموجة . تأخير متعدد الانماط (في الألياف متعددة الانماط).

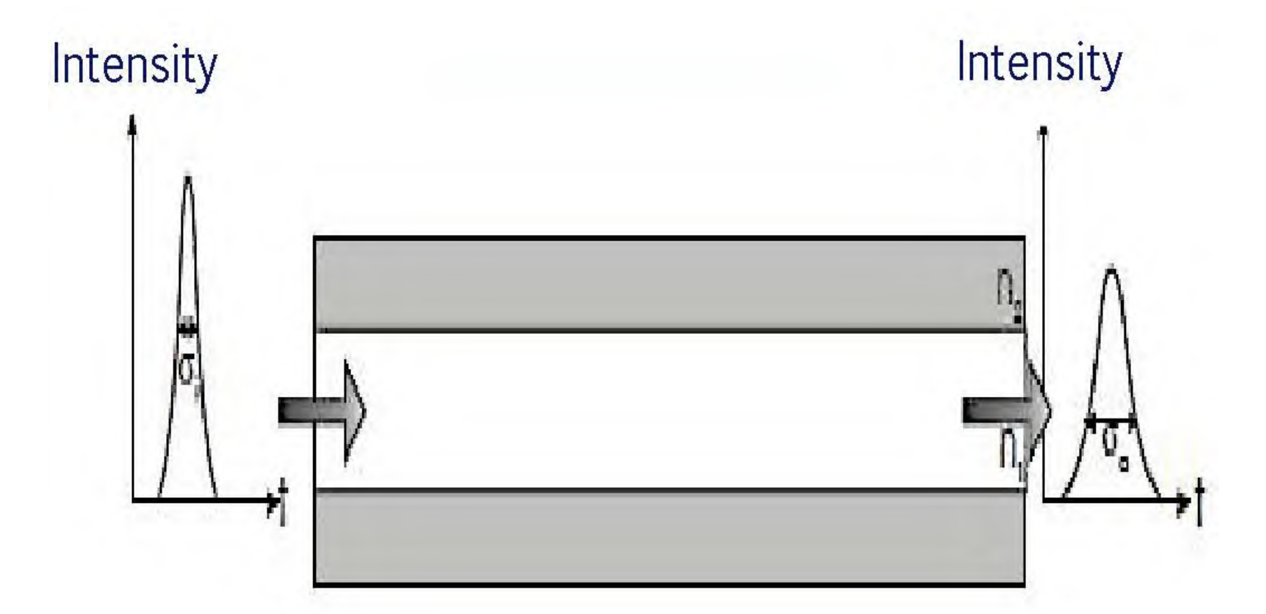


Figure 8.16: Demonstrates the change in pulse shape due to dispersion.

* **Note:** that dispersion as defined in optical fiber is different as the dispersion defined in optics.
* **ملاحظ:** أن التشتت كما هو معرف في الألياف البصرية يختلف عن تعريف التشتت في البصريات.

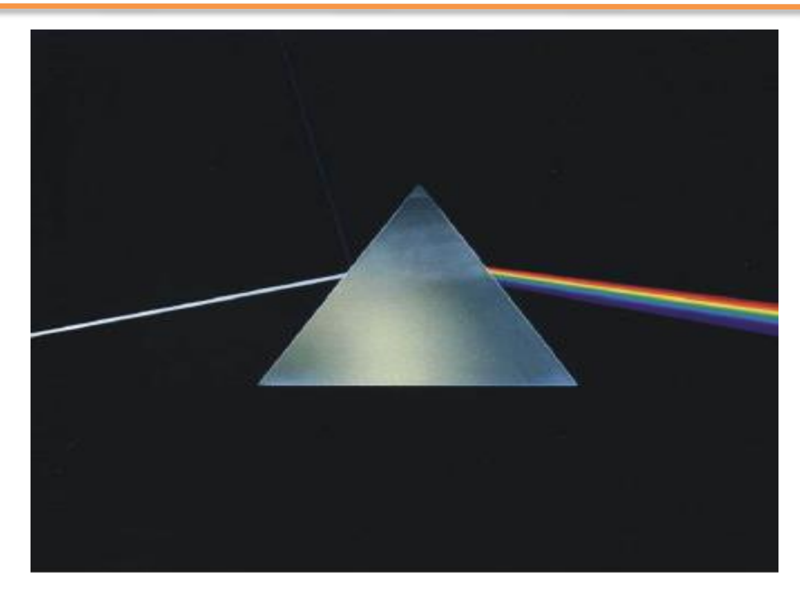


Figure 8.17: The dispersion of the white color in the prism shows the colors of the spectrum

Optical dispersion as envisioned by Pink Floyd

التشتت الضوئية كما تصورها بينك فلويد

$$D_{optics} = \frac{dn}{d\lambda} \qquad \text{.......... (8.25)}$$

$$D_{fibre} = \frac{1}{L}\frac{dT_G}{d\lambda} \propto \frac{d^2n}{d\lambda^2} \qquad \text{.......... (8.26)}$$

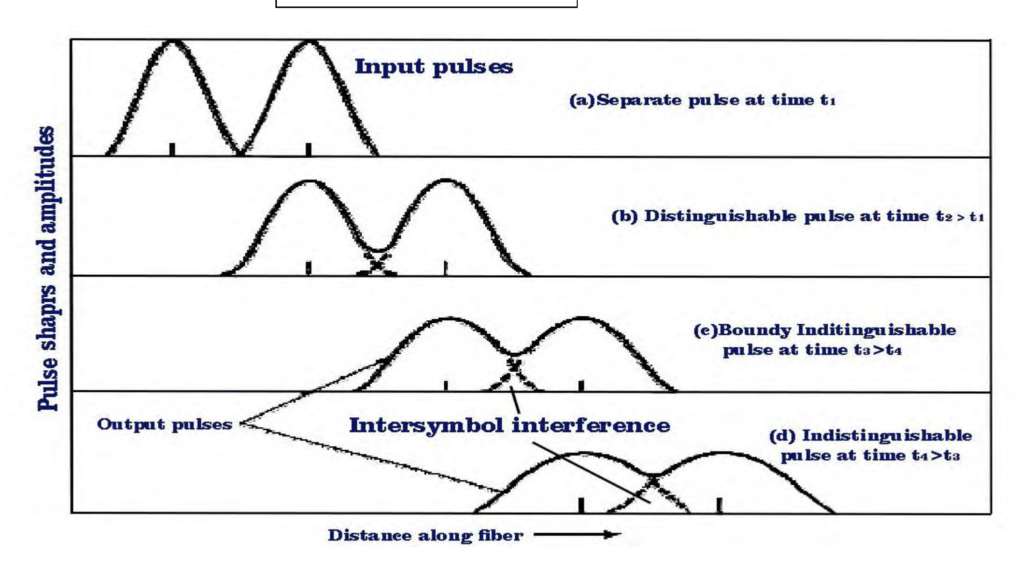


Figure 8.18: show keiser's Optical fiber communications.

*Normally a pulse that propagates through an optic fiber can be assumed to be Gaussian.

* عادة ما يفترض أن النبضة التي تنتشر عبر الألياف البصرية تكون كاوسية.

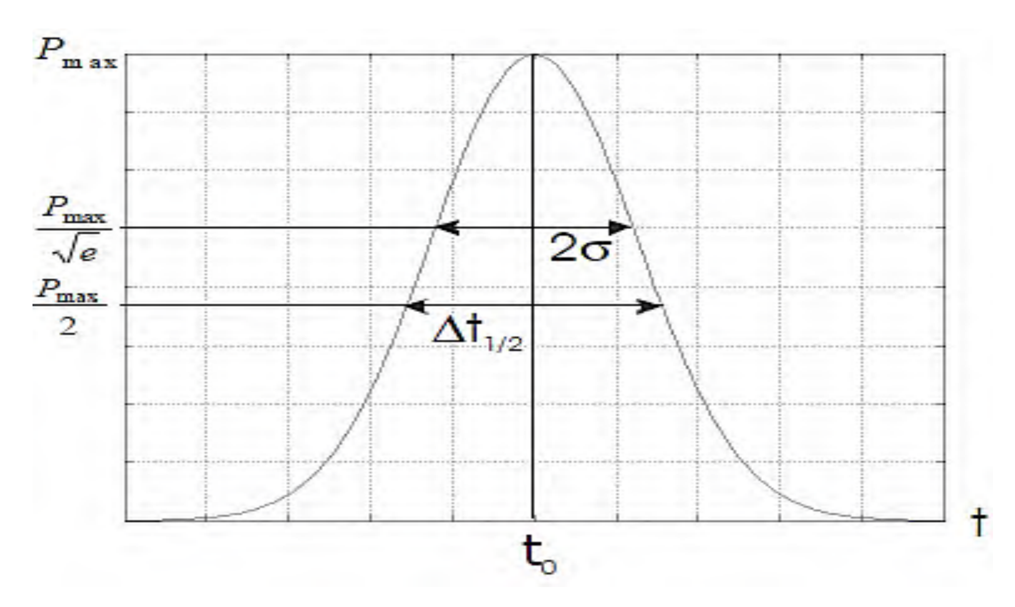


Figure 8.19: Demonstrates the propagation of the pulse within the visual fiber in the form of a Gaussian pulse.

$$f(t)=\frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{t^2}{2\sigma^2}} \qquad \text{.......... (8.27)}$$

For a Gaussian pulse $\sigma = 0.425\Delta\tau^{1/2}$

*The parameter σ is used to characterize the pulse-width. If we use this parameter then the intermodal (material) and intermodal dispersion can be easily added

* تستخدم المعلمة σ لتوصيف عرض النبضة. وإذا استخدمنا هذه المعلمة، يمكن بسهولة إضافة التشتت المتعدد (المادي) والتشتت المتعدد الوسائط

$$\sigma_{TOTAL}^2 = \sigma_{\text{inter}}^2 + \sigma_{\text{intra}}^2 \qquad \text{.......... (8.28)}$$

*****Watch out:** The pulse width can be defined both in the wavelength domain σλ or in the temporal domain στ.

* **تحذير:** يمكن تعريف عرض النبضة على حد سواء في مجال الطول الموجي σλ او في المجال الزمني στ.

8.17.1 Material Dispersion

1.17.8 تشتت المواد

• Material dispersion is also called as chromatic dispersion.

Material dispersion exists due to change in index of refraction for different wavelengths. A light ray contains components of various wavelengths centered at wavelength λ10.

The time delay is different for different wavelength components. This results in time dispersion of pulse at the receiving end of fiber. Fig. 8.20 shows index of refraction as a function of optical wavelength

* Each spectral component travels independently and undergoes a different group delay.

* Formally, the diffusion parameter D is obtained by deriving the group delay.

• ويسمى تشتت المواد أيضا باسم التشتت اللوني.

ويوجد تشتت المواد بسبب التغير في معامل الانكسار لأطوال موجية مختلفة. ويحتوى الشعاع الضوئي على مكونات من أطوال موجية مختلفة تتمحور حول طول الموجة λ10.

تأخير الوقت يختلف عن مختلف مكونات الطول الموجي. وهذا يؤدي إلى تشتت الوقت من النبضة في نهاية مستقبل (مستلم) الألياف.ويبين الشكل 20.8 معامل الانكسار كدالة لطول الموجة الضوئية

* يصل كل مكون طيفي بشكل مستقل ويخضع لتأخير مجموعة مختلفة.

* رسميا، يتم الحصول على معلمة الانتشار (D) باستخلاص تأخير المجموعة.

$$D(\text{ps/nm}\cdot\text{km}) = \frac{1}{L}\frac{dT_G}{d\lambda} = D_M + D_W \quad \text{..........} \quad (8.29)$$

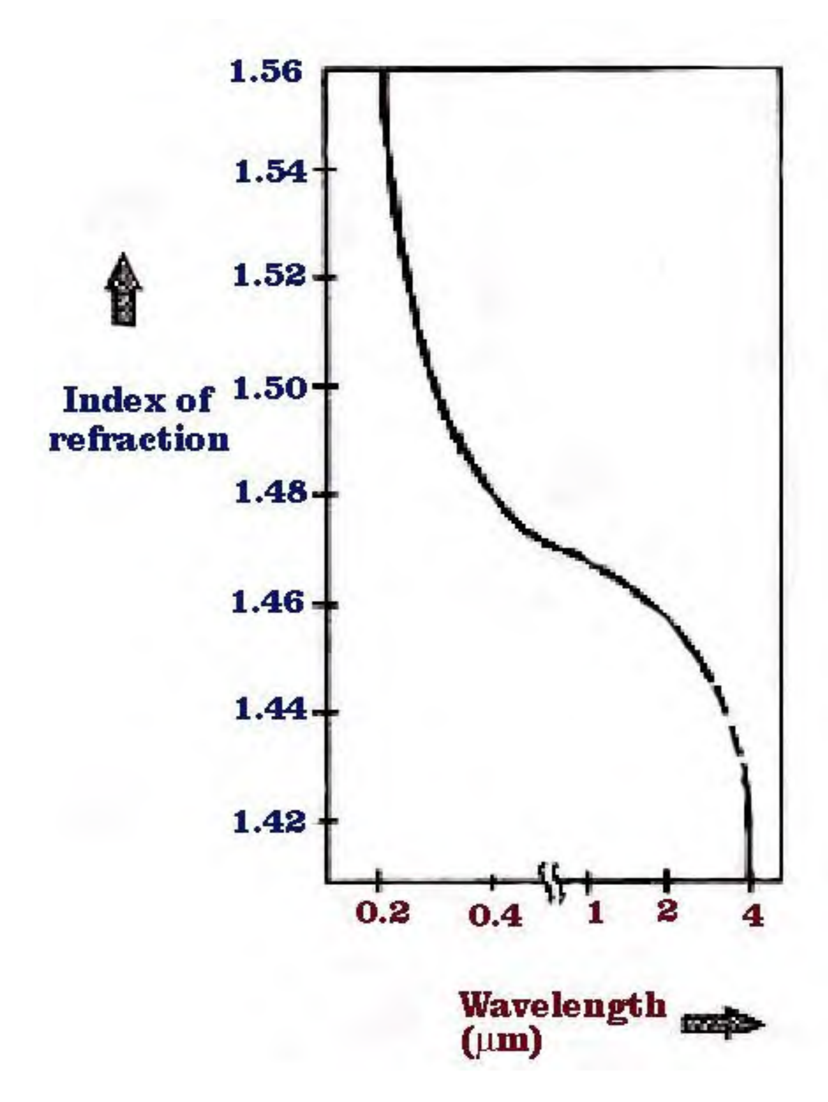


Figure 8.20: Index of refraction as a function of wavelength.

- The material dispersion for unit length (L = 1) is given by

$$D_{mat} = \frac{-\lambda}{c} x \frac{d^2n}{d\lambda^2} \quad \text{.......... (8.30)}$$

Where, c = Light velocity
λ = Center wavelength

$\frac{d^2n}{d\lambda^2}$ = Second derivative of index of refraction w.r.t wavelength

Negative sign shows that the upper sideband signal (lowest wavelength) arrives before the lower sideband (highest wavelength).

- A plot of material dispersion and wavelength is shown in Fig. 2.21

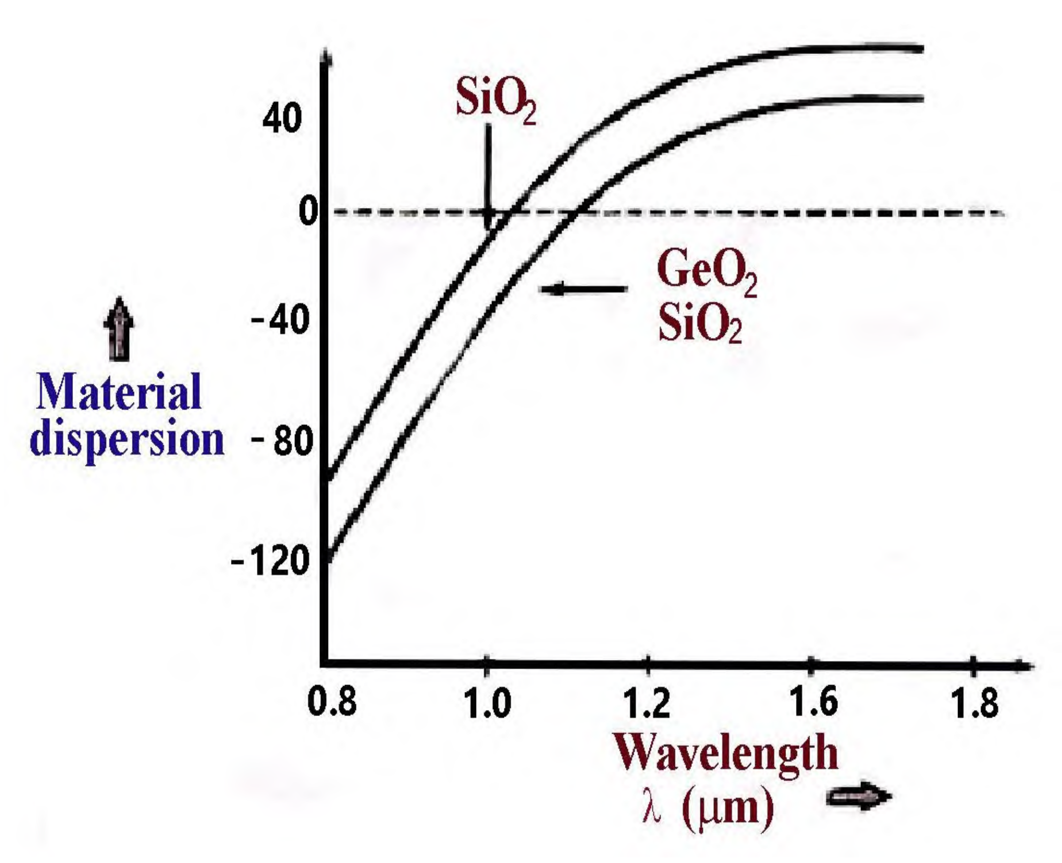


Figure 8.21: Material dispersion as a function of λ

- The unit of dispersion is: ps/nm. km. The amount of material dispersion depends upon the chemical composition of glass.

Example 8.8: An LED operating at 850 nm has a spectral width of 45 nm. What is the pulse spreading in ns/km due to material dispersion?

Solution:

Given : $\lambda = 850$ nm

$\sigma = 45$ nm

R.M.S pulse broadening due to material dispersion is given by,

$\sigma_m = \sigma LM$

Considering length L = 1 meter

Material dispersion constant $D_{mat} = \frac{-\lambda}{c} \cdot \frac{d^2n}{d\lambda^2}$

For LED source operating at 850 nm, $\left|\lambda^2 \frac{d^2n}{d\lambda^2}\right| = 0.025$

$$\therefore \quad M = \frac{1}{c\lambda}\left|\lambda^2 \frac{d^2n}{d\lambda^2}\right| = \frac{1}{(3 \times 10^5)(850)} \times 0.025$$

$$M = 9.8 \text{ ps/nm/km}$$

$$\therefore \quad \sigma_m = 45 \times 1 \times 9.8 = 441 \text{ ps/km}$$

$$\sigma_m = 441 \text{ ns/km}$$

Example 8.9: What is the pulse spreading when a laser diode having a 2 nm spectral width is used? Find the the material-dispersion-induced pulse spreading at 1550 nm for an LED with a 75 nm spectral width

Solutions:

Given: $\lambda = 2$ nm

$\sigma = 75$

$$D_{mat} = \frac{1}{c\lambda}\left|\lambda^2 . \frac{d^2n}{d\lambda^2}\right|$$

$$D_{mat} = \frac{1}{(3 \times 10^5) \times 2} \times 0.03 = 50 \text{ ps/nm/km}$$

$$\sigma_m = 2 \times 1 \times 50 = 100 \text{ ns/km}$$ ... Ans.

For LED $$D_{mat} = \frac{0.025}{(3 \times 10^5) \times 1550} = 53.76 \text{ ps nm}^{-1}\text{km}^{-1}$$

$$\sigma_m = 75 \times 1 \times 53.76$$

$$\sigma_m = 4.03 \text{ ns/km}$$ ... Ans.

*The material dispersion is caused by the dependence of the group velocity with wavelength (ultimately caused by n(ω)).

* ويتسبب تشتت المواد عن طريق الاعتماد على سرعة المجموعة مع الطول الموجي (في نهاية المطاف الناجم عن n (ω)).

$$V_G = \frac{c_0}{N_G} = \frac{c_0}{n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}} \quad .... \text{(8.31)}$$

*The time delay over a distance L is

* تأخير الوقت على طول مسافة L هو

$$T_G = \frac{L}{V_G} = \frac{LN_G}{c_0} \quad .... \text{(8.32)}$$

* And finally the material dispersion DM is

* وأخيرا تشتت المواد (DM) هو

$$D_M = \frac{1}{L}\frac{dT_M}{d\lambda} = \frac{1}{c_0}\frac{dN_G}{d\lambda} = \frac{1}{c_0}\frac{d}{d\lambda}\left(n - \lambda\frac{dn}{d\lambda}\right) = -\frac{\lambda}{c_0}\frac{d^2n}{d\lambda^2} \quad .... \text{(8.33)}$$

*This graphic shows the DM calculated with the Sell Meier equation for SiO_2

* هذا الرسم يبين (DM) محسوبة مع معادلة سيل ماير لـ (SiO_2)

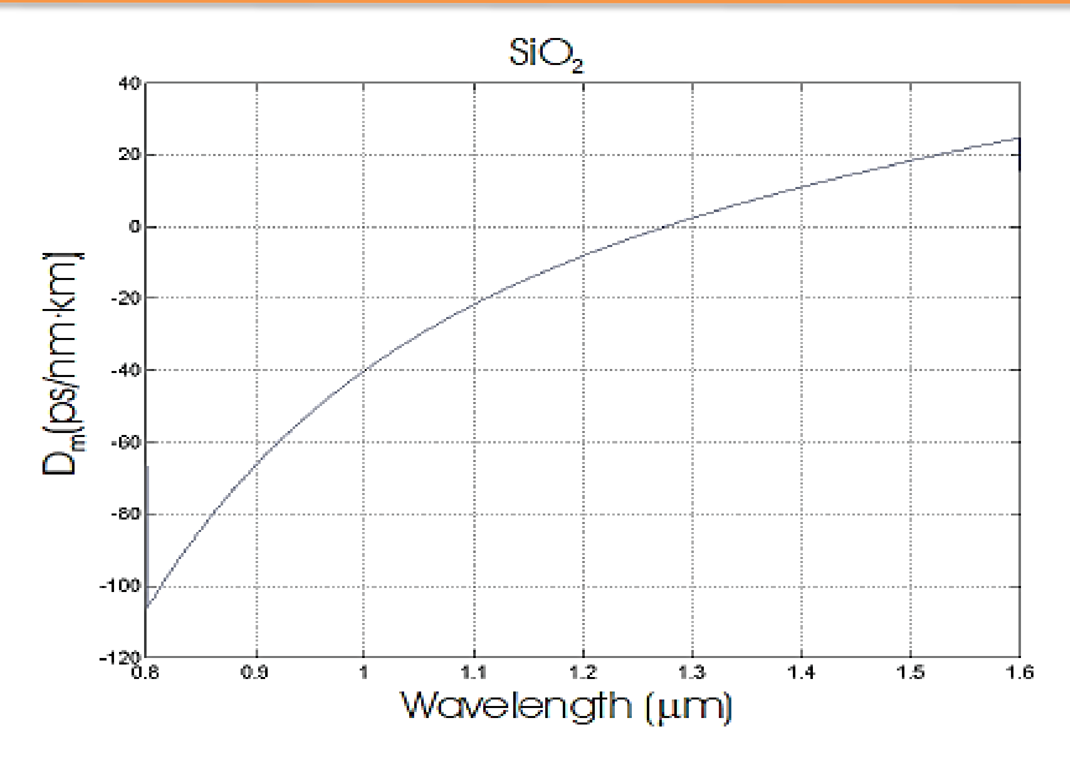


Figure 8.22: shows the DM calculated with the Sell Meier equation for SiO_2.

*But how is DM related to the time spreading?

* ولكن كيف هو DM تتعلق بفترة الانتشار؟

Approximating the differential equation with increments

تقريب المعادلة التفاضلية مع الزيادات

$$\sigma_t \approx |D_M| L \sigma_\lambda \quad \text{.......... (8.34)}$$

*If $D_M < 0$ then shorter wavelengths need more time to reach their destination (normal dispersion).

* اذا $D_M < 0$ حينذاك الأطوال الموجية القصيرة تحتاج إلى مزيد من الوقت للوصول إلى وجهتهم (التشتت الطبيعي).

*If $D_M > 0$ then longer wavelengths need more time to reach their destination (anomalous dispersion).

* اذا $D_M > 0$ حينذاك الأطوال الموجية الطويلة تحتاج إلى مزيد من الوقت للوصول إلى وجهتهم (التشتت الشاذ او الغير طبيعي).

***Note:** the dispersion analysis can also be performed with the definition of group velocity in terms of β:

* **ملاحظة**: يمكن أيضا إجراء تحليل التشتت مع تعريف سرعة المجموعة من حيث β

$$\delta\tau = \frac{dT_g}{d\lambda}\delta\lambda = -\frac{L}{2\pi c}\left(2\lambda\frac{d\beta}{d\lambda}+\lambda^2\frac{d^2\beta}{d\lambda^2}\right)\delta\lambda \qquad \text{……….} \quad \textbf{(8.35)}$$

*Or in the frequency domain

* أو في مجال التردد

$$\delta\tau = \frac{dT_g}{d\omega}\delta\omega = \frac{d}{d\omega}\left(\frac{L}{V_g}\right)\delta\omega = L\left(\frac{d^2\beta}{d\omega^2}\right)\delta\omega = L\beta_2\delta\omega \qquad \text{……….} \quad \textbf{(8.36)}$$

$$\left(\frac{d^2\beta}{d\omega^2}\right) = \beta_2$$ is the group velocity dispersion (GVD) parameter ………. **(8.37)**

8.17.2 waveguide Dispersion: **2.17.8 تشتت الدليل الموجي**

* Waveguide dispersion arises from the b dependence on V of the waveguide:

* تشتت دليل الموجة من b بالأعتماد على V من الدليل الموجي:

δ=δ(λ)

β=β(β)

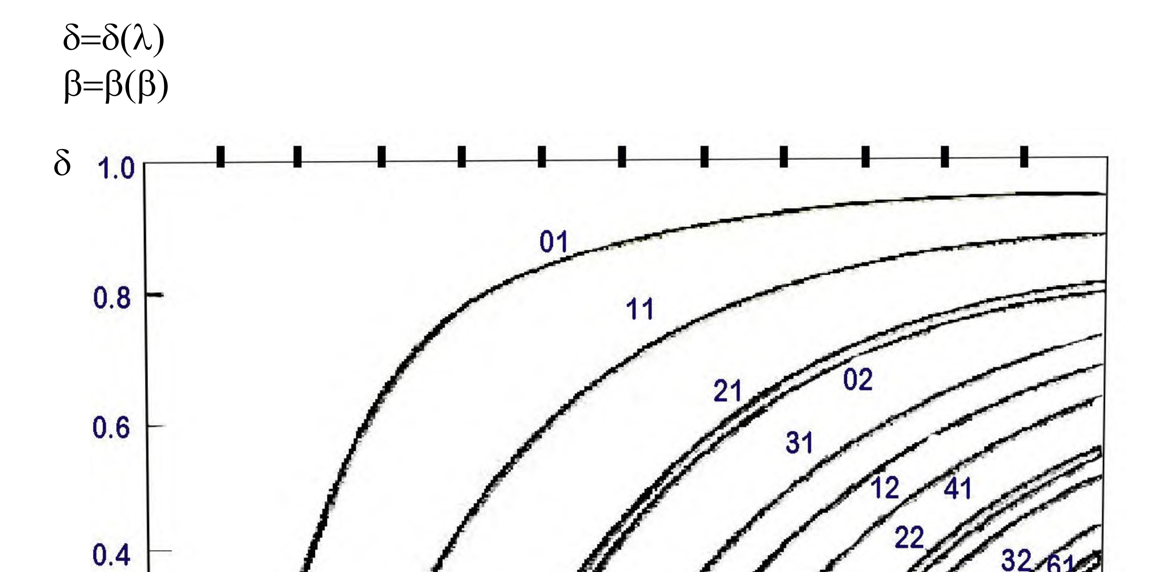


Figure 8.23: From Buck's *Fundamentals of optical fibers*.

*Let's try to quantify this dispersion. From the definitions of b and V:

* دعونا نحاول تحديد هذا التشتت. من تعريفي b و V :

$$b = \frac{\beta^2/k^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \xrightarrow{n_1 \approx n_2} b = \frac{\beta/k - n_2}{n_1 - n_2} \rightarrow \beta \approx kn_2(1 + \Delta b) \quad \text{.....} \quad \textbf{(8.38)}$$

$$V = ka\left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} \quad \text{..........} \quad \textbf{(8.39)}$$

*Therefore, the group delay caused by waveguide dispersion can be expressed as:
* لذلك، يمكن التعبير عن تأخير المجموعة الناجم عن تشتت الدليل الموجي على النحو التالي:
(Also note that)

$$T_W = \frac{L}{V_G} = \frac{L}{c_0}\frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c_0}\left(n_2 + n_2\Delta\frac{d(kb)}{dk}\right) \quad \text{.......... (8.40)}$$

$$\frac{d(kb)}{dk} = \frac{d(Vb)}{dV}$$

* Therefore

$$T_W = \frac{L}{V_G} = \frac{L}{c_0}\frac{d\beta}{dk} = \frac{L}{c_0}\left(n_2 + n_2\Delta\frac{d(Vb)}{dV}\right) \quad \text{.......... (8.41)}$$

* And finally as the dispersion is

$$D_W = \frac{1}{L}\frac{dT_W}{d\lambda} = \frac{dT_W}{dV}\frac{dV}{d\lambda} \quad \text{.......... (8.42)}$$

*And finally as the dispersion is

$$\frac{dV}{d\lambda} = \frac{d\left(\frac{2\pi a}{\lambda}NA\right)}{d\lambda} = -\frac{2\pi a NA}{\lambda^2} = -\frac{V}{\lambda}$$

dn/dλ=0

$$\frac{dT_W}{dV} = \frac{d\left[\frac{L}{c_0}\left(n_2 + n_2\Delta\frac{d(Vb)}{dV}\right)\right]}{dV} \approx \frac{n_2 L}{c_0}\Delta\frac{d^2(Vb)}{dV^2} \quad \text{.......... (8.43)}$$

Therefore, finally:

$$D_W = -\frac{V}{\lambda}\frac{n_2 L}{c_0}\Delta\frac{d^2(Vb)}{dV^2} = -\frac{n_2 L}{\lambda c_0}\Delta\left(V\frac{d^2(Vb)}{dV^2}\right) \quad \text{.... (8.44)}$$

*The figure shows the behavior of the first and second derivate.

* يوضح الشكل سلوك المشتق الأول والثاني.

* An approximate function for the LP01 can be calculated by using the

* يمكن حساب الدالة التقريبية لـ LP01 باستخدام

$$b(V) = 1 - \frac{\left(1+\sqrt{2}\right)^2}{\left[1+\left(4+V^4\right)^{\frac{1}{4}}\right]^2} \quad \text{.......... (8.45)}$$

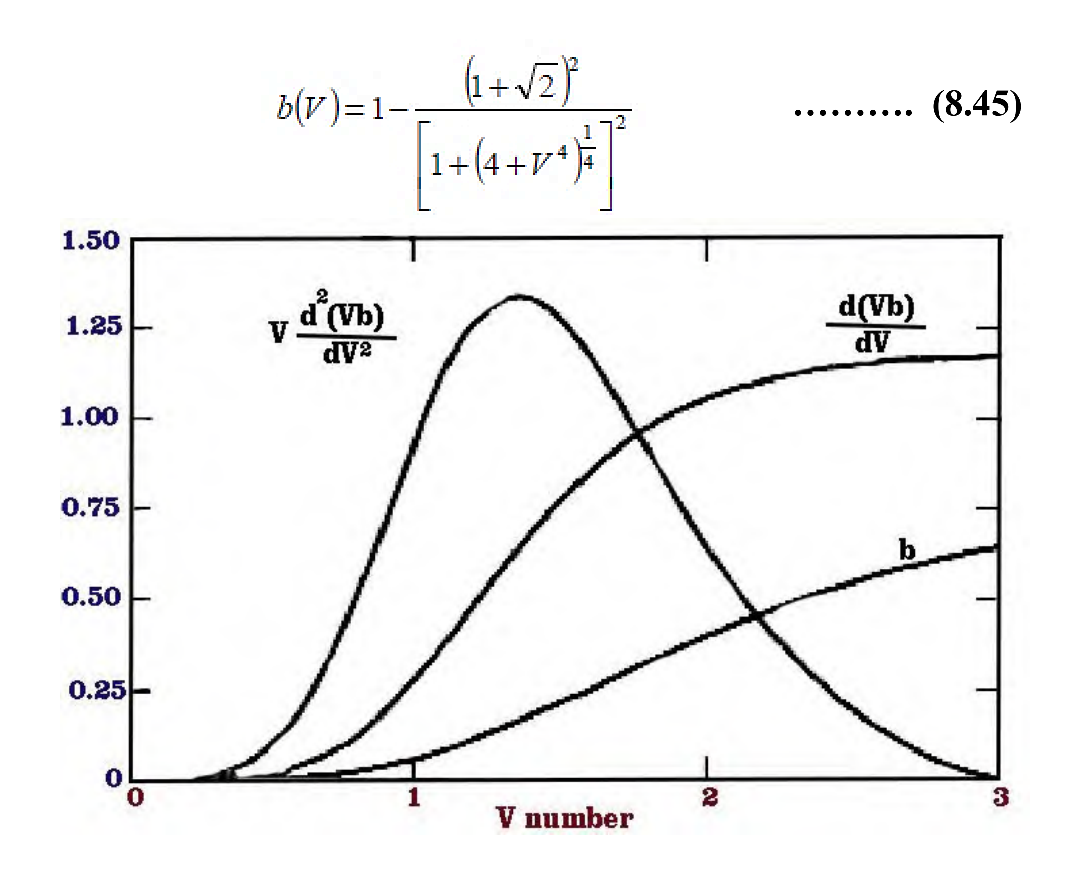


Figure 8.24: From Keiser's Optical communication systems.

8.17.3 Wavelength Dispersion 3.17.8 تشتت الطول الموجي

*The total chromatic dispersion of the fiber is shown in the figure:

* يظهر التشتت اللوني الكلي للألياف في الشكل:

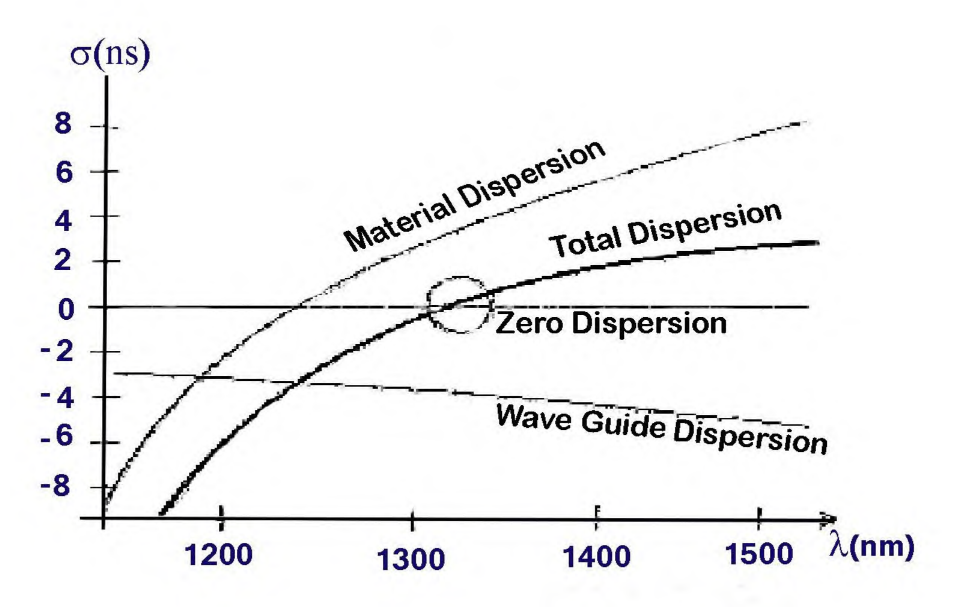


Figure 8.25: Shown the total chromatic dispersion of the fiber.

8.17.4 Other Sources Dispersion 4.17.8 تشتت مصادر أخرى

***Profile dispersion**: caused by the dependence of the group velocity on Δ.

*Typically less than 1ps $nm^{-1}km^{-1}$.

* Therefore, the total chromatic dispersion is

* **التشتت الخاص:** سببه اعتماد سرعة المجموعة على Δ.

* عادة أقل من (1ps $nm^{-1}km^{-1}$).

* لذلك، فإن التشتت اللوني الكلي هو

$$\Delta = \Delta M + \Delta \Omega + \Delta \Pi \qquad \text{.........} \quad (8.46)$$

*Polarization mode dispersion (PMD):

* تشتت نمط الاستقطاب (PMD):

Caused by non-symmetry or in homogeneities of the fiber.

نتج عن عدم التماثل أو في تجانس الألياف.

*The result is that the propagation constant for different polarizations is also different.

* والنتيجة هي أن ثابت الانتشار للاستقطابات المختلفة يختلف أيضا.

*Typically the dispersion caused by PMD is less than a fraction of a picosecond per kilometer. (but scales with L2).

* عادة ما يكون التشتت الناجم عن PMD هو أقل من جزء صغير من البيكو ثانية لكل كيلومتر. (ولكن المقاييس مع L2).

Dispersion shifted fibers

نقل (تحول) تشتت الألياف

*It is be desirable to minimize dispersion at the wavelength of propagation. The Zero dispersion fiber is conveniently placed near 1310nm for SiO_2 fibers. But what if we are using the third window?

* من المرغوب فيه خفض التشتت عند الطول الموجي للانتشار. يكون تشتت الالياف يساوي صفر بسهولة بالقرب 1310نانومتر للألياف SiO_2. ولكن ماذا لو كنا نستخدم النافذة الثالثة؟

*Also for multiple channel communication it may be desirable to have near zero dispersion for a range of wavelengths

* أيضا من أجل اتصالات قنوات متعددة قد يكون من المرغوب فيه أن يكون التشتت بالقرب من الصفر لمجموعة من الأطوال الموجية.

* Changing the waveguide geometry, changes the shape of the fundamental mode, and so changes the V/b and DW.

* تغيير هندسة الدليل الموجي، وتغيير شكل الوضع الأساسي، وهكذا يتغير V / B و DW.

* The chromatic dispersion is normally reduced between 1-3 ps/nm·km in a range of wavelengths from 1.3 to 1.6nm

* يتم عادة تشتت لوني منخفض بين 1-3 ps/nm·km في مجموعة من الأطوال الموجية من 1.3 إلى 1.6nm

* This may also lead to a small increase in the attenuation.

* قد يؤدي ذلك أيضا إلى زيادة صغيرة في التوهين.

* What is the solution?	* ماهو الحل؟
. Doping: increases attenuation	. التشويب: تزيد من التوهين
. Change the waveguide geometry	. تغيير هندسة الدليل الموجي

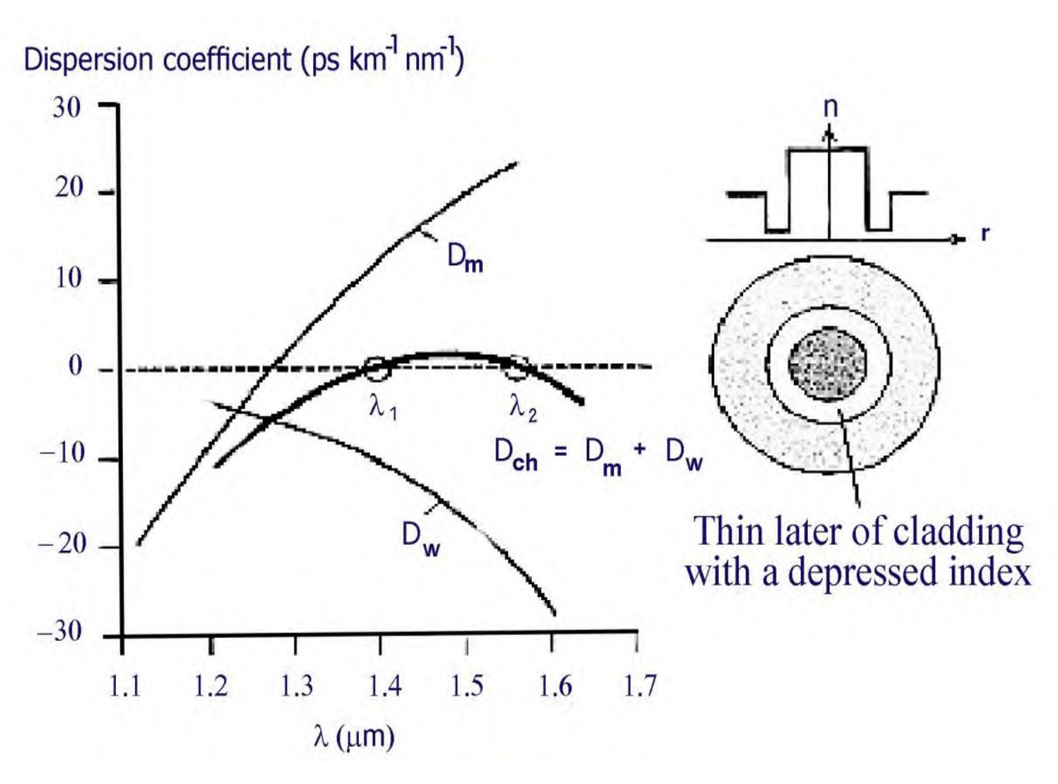


Figure 8.26: From Kasap's Optoelectronics and photonics.

8.17.5 Intermodal Dispersion — 5.17.8 التشتت متعدد الانماط

* Caused by different modes having different propagation constants in multimode fibers.

* ينتج عن أنماط مختلفة لها ثوابت انتشار مختلفة في ألياف متعددة الانماط.

* When the number of modes is high, it can be approximated estimating the different path lengths from the fastest and the slowest propagating mode.

* عندما يكون عدد ألانماط مرتفعا، استطاع تقريب التقدير بأختلاف حسب الاطوال الموجية من الأسرع والأبطأ بنمط الانتشار.

. Total length travelled by the fastest propagating mode: L_0

. يسير الطول الكلي بواسطة أسرع نمط للأنتشار: L_0

$L_0/\sin\theta\chi$.
*Therefore

$$\Delta t \approx \frac{L_0/\sin\theta_C}{c_0/n_1} - \frac{L_0}{c_0/n_1} \approx \frac{n_1\Delta}{c_0} L_0 \qquad \text{.......... (8.47)}$$

* For GRIN fibers, the delay between the lowest order and highest order propagation mode can be approximated by:
* بالنسبة للألياف GRIN ، يمكن تقريب التأخير بين أدنى رتبة وأعلى ترتيب للانتشار بواسطة:

$$\sigma_{\text{inter}} = \begin{cases} \dfrac{n_1\Delta L}{c}\left(\dfrac{\alpha-\alpha_{opt}}{\alpha+2}\right) & \text{for } \alpha \neq \alpha_{\text{opt}} \\ \dfrac{n_1\Delta^2 L}{c} & \text{for } \alpha = \alpha_{\text{opt}} \end{cases} \qquad \text{.......... (8.48)}$$

With α being the parameter that defines the index profile and α opt ≈ 2
مع وجود اعدادات α التي تعرف معلومات المؤشر واختيار α ≈ 2

8.18 Optical Link | 18.8 الربط البصري

*When designing an optical link one of the most interesting questions is the maximum distance between emitter and detector for a certain bit rate.

* عند تصميم وصلة بصرية واحدة من الأسئلة الأكثر إثارة للاهتمام هي المسافة القصوى بين باعث وكاشف لمعدل بت معين.

*Two different analysis have to be done:

* يجب إجراء تحليلين مختلفين:

1-An analysis of the attenuation budget: Which is the maximum distance before the signal is too small and the photodiode cannot detect it? (attenuation limited link)

1- تحلیل میزانیة التوهين: ما هي المسافة القصوى قبل إشارة صغيرة جدا ولا يمكن الكشف عن ذلك الضوء؟ (التوهين) وصلة محدودة)

2-An analysis of the dispersion

2- تحليل لميزانية التشتت: وهو أقصى

budget: which is the maximum distance before the optical pulse broadens beyond the value when they overlap?

مسافة قبل أن توسع النبضة البصرية إلى ما بعد القيمة عندما تتداخل؟

Optical link: attenuation budget الربط البصري: ميزانية التوهين

*The attenuation budget of the fiber can be calculated by subtracting the attenuation of all the components in the fiber and the photodetector losses as follows:

* يمكن حساب ميزانية التوهين للألياف بطرح التوهين لجميع المكونات في الألياف وخسائر الكاشف الضوئي على النحو التالي:

$$\left(\alpha_{F\max} = \alpha_{emitter} - \alpha_{CL} - \sum \alpha_{IL} - \alpha_{Phdiode}\right)_{dB} \longrightarrow L_{\max} = \frac{\alpha_{F\max}}{\alpha} \quad \textbf{(8.49)}$$

Where

$\alpha_{emitter}$ id the gain of the emitting device.

$\alpha_{emitter}$ هي كسب الجهاز الذي ينبعث منه.

α_{CL} is the coupling losses.

α_{CL} هو خسائر الاقتران.

α_{IL} are the insertion losses of each component in the fiber

α_{IL} هي خسائر الإدخال من كل مكون في الألياف

$\alpha_{Phdiode}$ is the sensitivity of the photodiode

$\alpha_{Phdiode}$ هو حساسية من الكاشف الضوئي

*The bit rate capacity is directly related to the dispersion characteristics as the pulse spreading is the limiting factor for a maximum rate over a distance L.

* ترتبط قدرة معدل البتات مباشرة بخصائص التشتت لأن انتشار النبضة هو العامل المحدد لمعدل أقصى مسافة L.

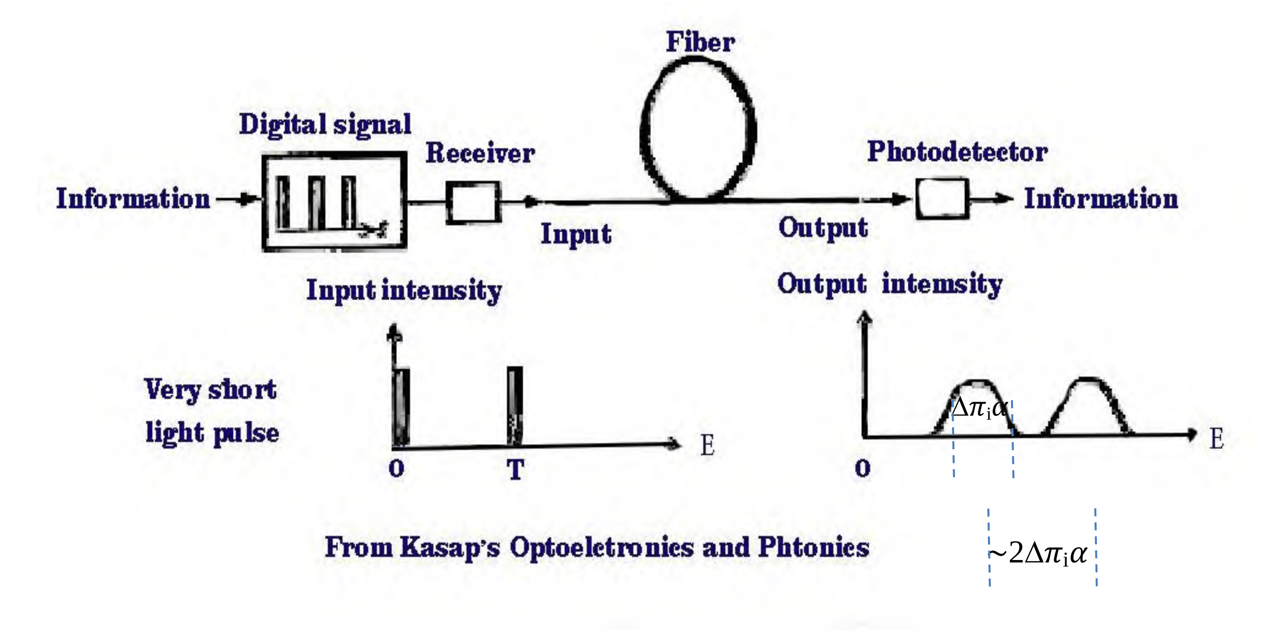


Figure 8.27: from kasap's optoelectronics and phonies.

*Note that the optical bandwidth is defined different than the 'traditional' electrical bandwidth

نلاحظ أن عرض النطاق البصري يعرف مختلفا عن عرض النطاق الترددي الكهربائي "التقليدي"

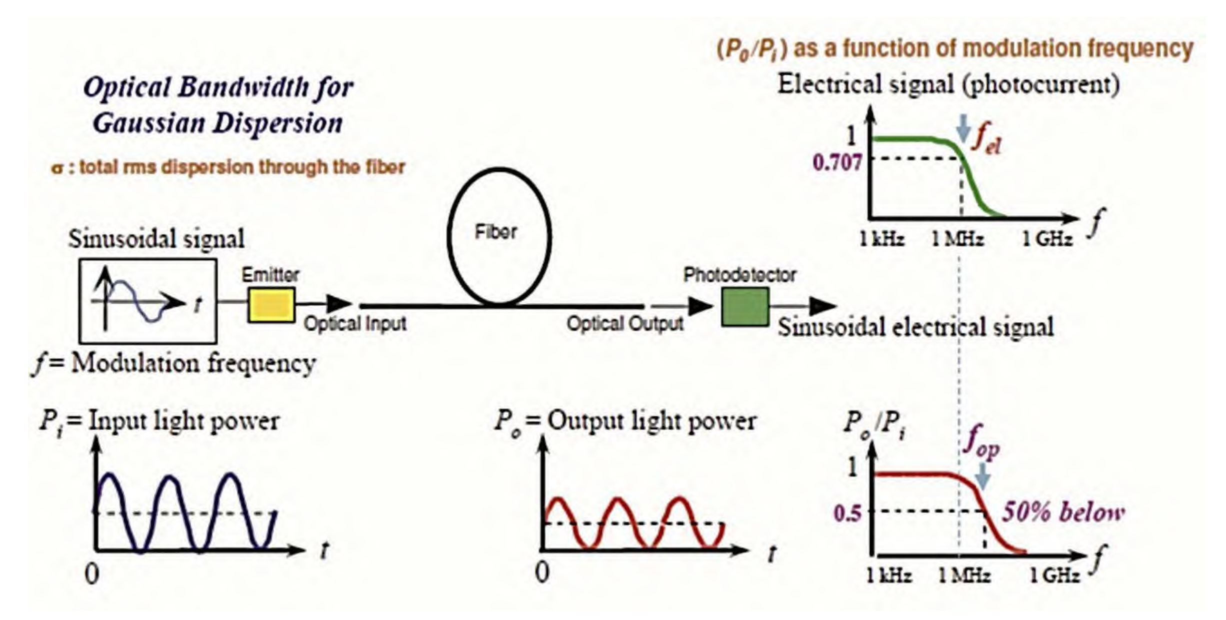


Figure 8.28: Show optical bandwidth for Gaussian dispersion.

*Also the bit rate can be:

* أيضا معدل البت يمكن أن يكون:

. Non-return to zero (NRZ) when the light signal does not have to return to zero between consecutive pulses.

. عدم العودة إلى الصفر (NRZ) عندما لا تضطر إشارة الضوء إلى العودة إلى الصفر بين نبضات متتالية.

. Return to zero (RZ) bit rate when the light intensity has to return to zero before a second pulse arrives Therefore:

. العودة إلى الصفر (RZ) عندما يكون معدل البت لشدة الضوء العودة إلى الصفر قبل وصول النبضة الثانية لذلك:

$B_{NRZ} = 2B_{RZ}$

*It can be shown that light pulses had to be separated by at least 4σ to

* يمكن أن تبين لتضمين النبضة الضوئية كان لا بد من فصل ما لا يقل عن نحو 4σ

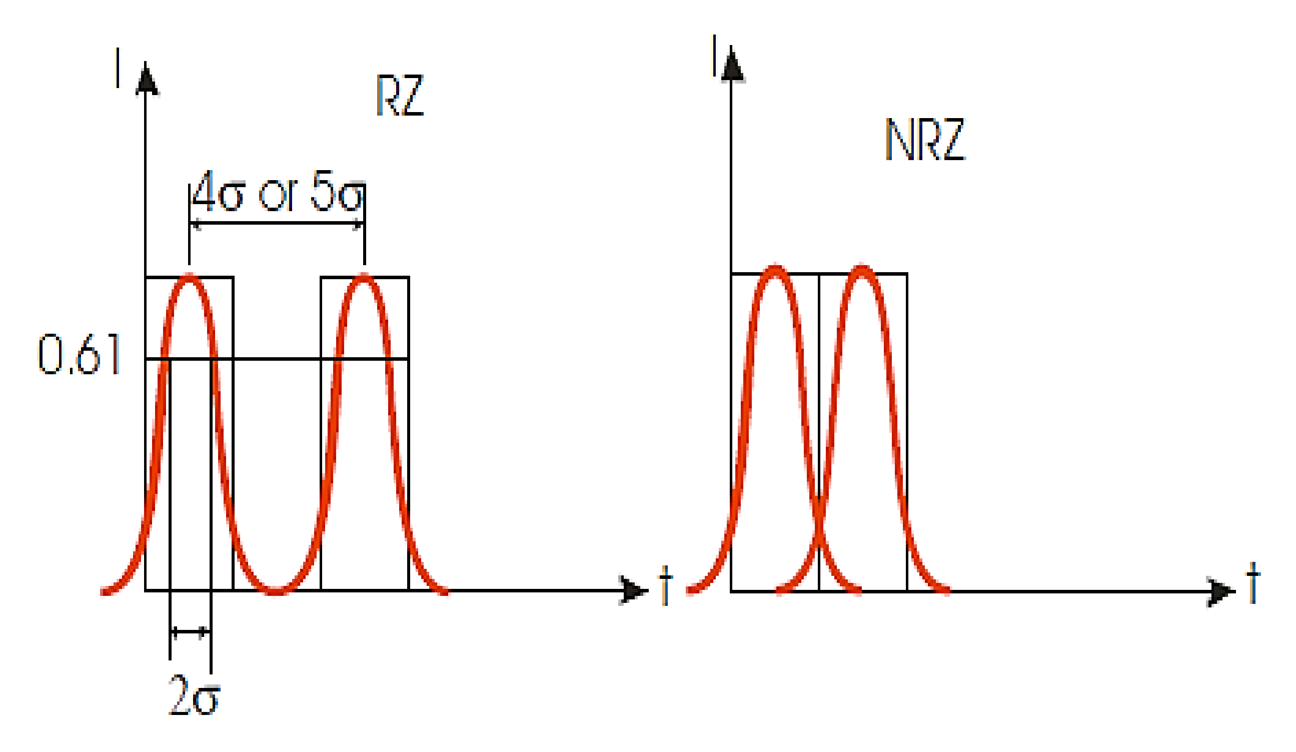


Figure 8.29: shown that light pulses $B_{NRZ} = 2B_{RZ}$.

*The maximum bit rate is

$$(B_{RZ})_{MAX} \approx \frac{1}{4\sigma_t} \qquad \text{.......... (8.50)}$$

* But the time spreading of the pulse depends on the dispersion parameter of the fiber

* ولكن وقت انتشار النبض يعتمد على عامل التشتت من الأليـاف

*Therefore $\sigma_t \approx |D| L \sigma_\lambda$

$$(B_{RZ})_{MAX} L \approx \frac{0.25}{|D| \sigma_\lambda} \qquad \text{.......... (8.51)}$$

*From the same expression, the maximum dispersion-limited length in a fiber can be written as

* من نفس التعبير، الحد الأقصى للتشتت طول محدود في الأليـاف يمكن أن يكتب كما

$$L_{MAX} \approx \frac{0.25}{|D| \sigma_\lambda B} \qquad \text{.......... (8.52)}$$

Chapter 9

Optical Receivers

9 Optical Receivers

9.1 Introduction

9 الاستقبال البصري

1.9 المقدمة

The role of an optical receiver is to convert the optical signal back into electrical form and recover the data transmitted through the light wave system. Its main component is a photodetector that converts light into electricity through the photoelectric effect.

ويتمثل دور المستقبل البصري في تحويل الإشارة البصرية إلى شكل كهربائي واستعادة البيانات المرسلة عبر نظام الموجة الضوئية. الكاشف الضوئي هو المكون الرئيسي لتحويل الضوء إلى الكهرباء من خلال التأثير الكهروضوئي.

The requirements for a photodetector are similar to those of an optical source. It should have high sensitivity, fast response, low noise, low cost, and high reliability. Its size should be compatible with the fiber-core size. These requirements are best met by photodetectors made of semiconductor materials.

وتتشابه متطلبات جهاز الكاشف الضوئي مع متطلبات مصدر ضوئي. يجب أن يكون حساسية عالية، استجابة سريعة، انخفاض مستوى الضجيج، منخفضة التكلفة، وصلابة عالية.
حجمه يجب أن تكون متوافقة مع حجم الألياف الأساسية. ومن الأفضل تلبية هذه المتطلبات من قبل الكاشف الضوئي مصنوعة من مواد أشباه الموصلات.

This chapter focuses on photodetectors and optical receivers. We introduce in Section 9.2 the basic concepts behind the

ويركز هذا الفصل على أجهزة الكاشف الضوئي وأجهزة الاستقبال البصرية. نعرض في القسم 2.9 المفاهيم الأساسية وراء عملية الكشف الضوئي ونناقش في القسم 3.9 أنواع

photodetection process and discuss in Section 9.3 several kinds of photodetectors commonly used for optical receivers. The components of an optical receiver are described in Section 9.4 with emphasis on the role played by each component.

عديدة من أجهزة الكشف الضوئي التي تستخدم عادة في المستقبلات البصرية. ويرد وصف مكونات المستقبل البصري في القسم 4.9 مع التركيز على الدور الذي يؤديه كل مكون.

9.2 Basic Concepts

2.9 المفاهيم الأساسية

The fundamental mechanism behind the photodetection process is optical absorption. This section introduces basic concepts such as responsivity, quantum efficiency, and bandwidth that are common to all photodetectors and are needed later in this chapter.

الآلية الأساسية وراء عملية الكاشف الضوئي هو الامتصاص البصري. ويقدم هذا القسم مفاهيم أساسية مثل الاستجابة، الكمية الكمومية، وعرض النطاق الترددي الشائعة بين جميع أجهزة الكاشف الضوئي، وهناك حاجة إليها لاحقا في هذا الفصل.

9.2.1 Detector Responsivity

1.2.9 الاستجابة للكاشف

Consider the semiconductor slab shown schematically in Fig.9.1. If the energy $h\nu$ of incident photons exceeds the bandgap energy, an electron–hole pair is generated each time a photon is absorbed by the semiconductor. Under the influence of an electric field set up by an applied voltage, electrons and holes are swept across the semiconductor, resulting in a flow of electric current.

النظر في لوح أشباه الموصلات مبين بشكل تخطيطي في الشكل 1.9 وإذا تجاوزت طاقة الفوتونات $h\nu$ الساقطة فجوة طاقة النطاق العريض، يتم إنشاء زوج الإلكترون فجوة في كل مرة يمتص فيها أشباه الموصلات الفوتون.

تحت تأثير المجال الكهربائي التي وضع الجهد في تطبيقها، تجتاح الإلكترونات والفجوات عبر أشباه الموصلات، مما يؤدي إلى تدفق التيار الكهربائي.

The photocurrent I_p is directly proportional to the incident optical power P_{in}, i.e.,

والتيار الضوئي I_p يتناسب طرديا مع تيار الطاقة الضوئية الساقطة P_{in} أي،

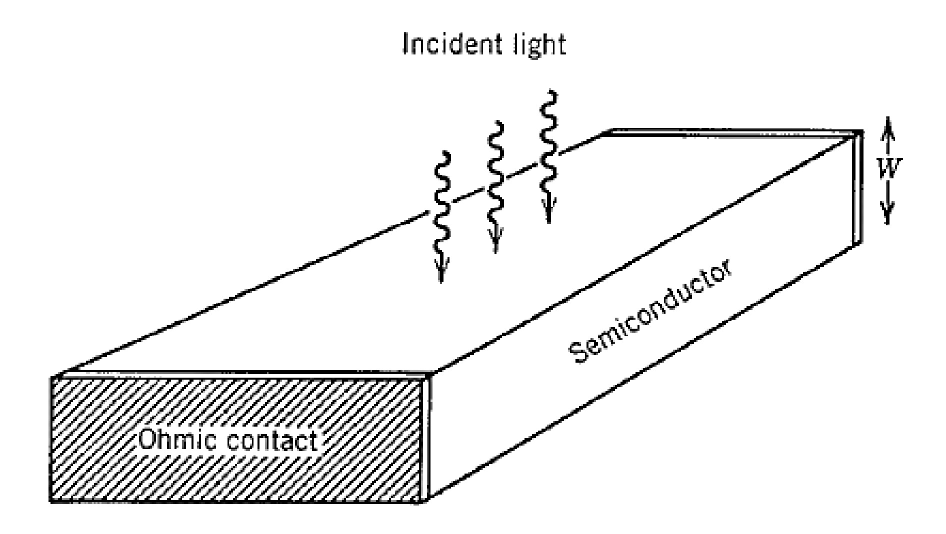


Figure 9.1: A semiconductor slab used as a photodetector.

$$I_p = RP_{in}, \qquad .... \quad (9.1)$$

Where R is the *responsivity* of the photodetector (in units of A/W).

حيث R هو استجابة الكاشف الضوئي (في وحدات من A / W).

The responsivity R can be expressed in terms of a fundamental quantity, called the *quantum efficiency* and defined as:

ويمكن التعبير عن الاستجابة R من حيث الكمية الأساسية، وتسمى (كفاءة الكم) وتعرف بأنها:

$$\eta = \frac{\text{electron generation rate}}{\text{photon incidence rate}} = \frac{I_p/q}{P_{in}/h\nu} = \frac{h\nu}{q}R, \qquad .... \quad (9.2)$$

Where Eq. (9.1) was used. The responsivity R is thus given by

$$R = \frac{\eta q}{h\nu} \approx \frac{\eta \lambda}{1.24}, \qquad \text{..........} \quad (9.3)$$

where λ ≡ c/ν is expressed in micrometers. The responsivity of a photodetector increases with the wavelength λ simply because more photons are present for the same optical power.

حيث يعبر عن λ ≡ c / ν بالميكروميتر. وتزداد استجابة الكاشف الضوئي مع الطول الموجي λ لمجرد وجود المزيد من الفوتونات لنفس القوة البصرية.

Such a linear dependence on is not expected to continue forever because eventually the photon energy becomes too small to generate electrons.
In semiconductors, this happens for $h\nu < Eg$, where Eg is the bandgap. The quantum efficiency η then drops to zero.

ومن غير المتوقع أن يستمر هذا الاعتماد الخطي الى الأبد لأن طاقة الفوتون تصبح في نهاية المطاف صغيرة جدا لتوليد الإلكترونات.

في أشباه الموصلات، يحدث هذا لـ $h\nu<Eg$ ، حيث Eg هو طاقة فجوة النطاق. ثم تنخفض كفاءة الكم η إلى الصفر.

The dependence of η on λ enters through the absorption coefficient α. If the facets of the semiconductor slab in Fig. 9.1 are assumed to have an antireflection coating, the power transmitted through the slab of width W is:
$P_{tr} = \exp(-\alpha W)P\text{in}$.
The absorbed power can be written as:

ويدخل اعتماد η على λ من خلال معامل الامتصاص α. وإذا افترض أن لسطح أشباه الموصلات في الشكل 1.9 له طلاء مضاد للانعكاس، فإن القدرة المرسلة عبر لوح عرضه W هي:

$P_{tr} = \exp(-\alpha W)P\text{in}$.
يمكن أن نكتب طاقة الامتصاص كما يلي:

$$P_{abs} = P_{in} - P_{tr} = [1 - \exp(-\alpha W)]P_{in}. \qquad \text{..........} \quad (9.4)$$

Since each absorbed photon creates an electron–hole pair, the quantum efficiency η is given by

$$\eta = P_{abs}/P_{in} = 1 - \exp(-\alpha W). \qquad \text{..........} \quad (9.5)$$

.

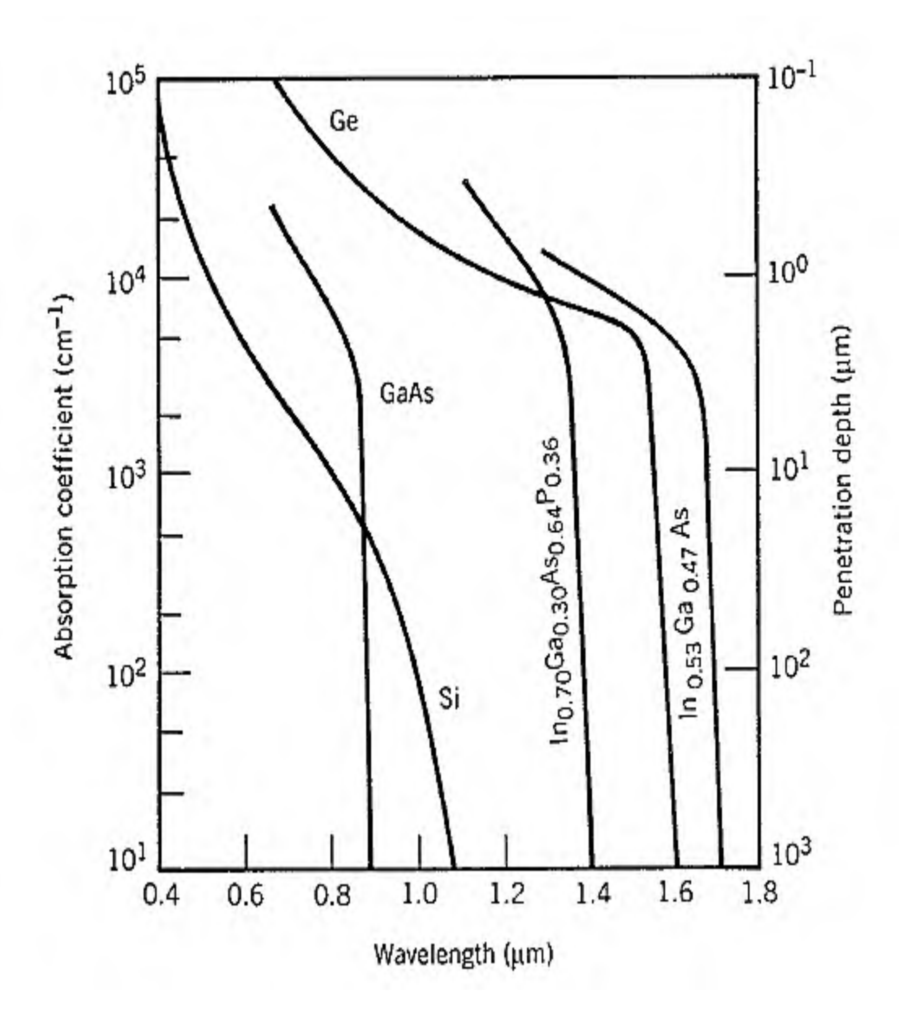


Figure 9.2: Wavelength dependence of the absorption coefficient for several semiconductor materials.

As expected, η becomes zero when $\alpha = 0$. On the other hand, η approaches 1 if

$$\alpha W \gg 1.$$

Figure 9.2 shows the wavelength dependence of α for several semiconductor materials

وكما هو متوقع، فان كفاءة الكم (η) يصبح صفر عند α = 0. من ناحية أخرى، η تقترب من 1 إذا

αW≫ 1

ويبين الشكل 2.9 الاعتماد على الطول الموجي بسبب ان معامل الامتصاص (α) تستخدم عادة لعدد من مواد أشباه الموصلات

commonly used to make photodetectors for lightwave systems.

لصنع الكاشف الضوئي لأنظمة الموجات الضوئية.

The wavelength λc at which α becomes zero is called the cutoff wavelength, as that material can be used for a photodetector only for $\lambda<\lambda c$. As seen in Fig. 9.2, indirect-bandgap semiconductors such as Si and Ge can be used to make photodetectors even though the absorption edge is not as sharp as for direct-bandgap materials.

ويسمى طول الموجة λc الذي يصبح فيه α صفرا طول الموجي القطع، حيث يمكن استعمال هذه المادة في جهاز الكاشف الضوئي فقط بالنسبة إلى $\lambda < \lambda c$. وكما هو مبين في الشكل 2.9، يمكن استخدام أشباه الموصلات ذات النطاق العريض غير المباشر مثل Si و Ge لجعل أجهزة الكشف الضوئي على الرغم من أن حافة الامتصاص ليست حادة كما هو الحال بالنسبة لمواد النطاق المباشر.

Large values of ($\sim 10^4$ cm^{-1}) can be realized for most semiconductors, and η can approach 100% for $W \sim 10$ μm. This feature illustrates the efficiency of semiconductors for the purpose of photodetection.

يمكن أن تتحقق قيم كبيرة من ($\sim 10^4$ cm^{-1}) لمعظم أشباه الموصلات، و يمكن لـ η الاقتراب من 100٪ اذا ($W \sim 10$ μm). توضح هذه الميزة كفاءة أشباه الموصلات لغرض الكشف الضوئي.

9.2.2 Rise Time and Bandwidth

2.2.9 زمن النهوض وعرض النطاق الترددي

The *bandwidth* of a photodetector is determined by the speed with which it responds to variations in the incident optical power.

يتم تحديد عرض النطاق الترددي للكاشف الضوئي بالسرعة التي يستجيب إلى الاختلافات في الطاقة الضوئية الساقطة.

It is useful to introduce the concept of *rise time Tr*, defined as the time over which the current builds up from 10 to 90% of its final value when the incident optical power is changed abruptly.

ومن المفيد إدخال مفهوم زمن النهوض (*Tr*)، الذي يعرف بأنه الوقت الذي يتراكم فيه التيار من 10 إلى 90٪ من قيمته النهائية عندما تتغير الطاقة الضوئية الساقطة فجأة.

Clearly, *Tr* will depend on the time taken by electrons and holes to travel to the electrical contacts.

ومن الواضح أن *Tr* تعتمد على الوقت الذي تستغرقه الإلكترونات والفجوات لمسافة الوصول إلى التماس الكهربائي.

It also depends on the response time of the electrical circuit used to process the photocurrent.

كما يعتمد على زمن الاستجابة للدائرة الكهربائية المستخدمة لمعالجة التيار الضوئي.

The rise time *Tr* of a linear electrical circuit is defined as the time during which the response increases from 10 to 90% of its final output value when the input is changed abruptly (a step function). When the input voltage across an *RC* circuit changes instantaneously from 0 to V_0, the output voltage changes as:

يتم تعريف زمن النهوض (*Tr*) للدائرة الكهربائية الخطية على أنه الوقت الذي تزيد فيه الاستجابة من 10 إلى 90٪ من قيمة خرجها النهائية عندما يتم تغيير المدخلات فجأة (دالة خطوة). عندما يتغير جهد الدخل عبر دائرة *RC* على الفور من 0 إلى V_0، يتغير الجهد الناتج كما يأتي:

$$V_{out}(t) = V_0[1 - \exp(-t/RC)], \qquad \dots\dots\dots\dots (9.6)$$

where *R* is the resistance and *C* is the capacitance of the *RC* circuit. The rise time is found to be given by

حيث R هو المقاومة و C هو السعة للدائرة *RC*.
تم ايجاد زمن النهوض والذي يعطى من قبل:

$$T_r = (\ln 9)RC \approx 2.2\tau_{RC}, \qquad \dots\dots\dots\dots (9.7)$$

where $\tau_{RC} = RC$ is the time constant of the RC circuit.

The rise time of a photodetector can be written by extending Eq. (9.7) as

$$T_r = (\ln 9)(\tau_{tr} + \tau_{RC}), \qquad \ldots\ldots\ldots\ (9.8)$$

where τ_{tr} is the transit time and τ_{RC} is the time constant of the equivalent *RC* circuit.

حيث τ_{tr} هو وقت العبور و τ_{RC} هو ثابت الوقت لدائرة *RC* المكافئة.

The transit time is added to τ_{RC} because it takes some time before the carriers are collected after their generation through absorption of photons. The maximum collection time is just equal to the time an electron takes to traverse the absorption region. Clearly, τ_{tr} can be reduced by decreasing *W*.

ويضاف وقت العبور إلى τ_{RC} لأنه يأخذ بعض الوقت قبل أن يتم جمع الموجات الحاملة بعد التوليد من خلال امتصاص الفوتونات.

أقصى وقت للجمع يساوي تماما الوقت الذي يستغرقة الإلكترون لاجتياز منطقة الامتصاص.

However, as seen from Eq. (9.5), the quantum efficiency η begins to decrease significantly for $\alpha W < 3$. Thus, there is a trade-off between the bandwidth and the responsivity (speed versus sensitivity) of a photodetector.

من الواضح، τ_{tr} يمكن تخفيضها عن طريق خفض W. ومع ذلك، كما رأينا من معادلة (5.9)، تبدأ الكفاءة الكمومية η في الانخفاض بشكل ملحوظ بالنسبة إلى $\alpha W < 3$. وهكذا، هناك مفاضلة بين عرض النطاق والاستجابة (السرعة مقابل الحساسية) لمؤشر ضوئي.

Often, the *RC* time constant τ_{RC} limits the bandwidth because of electrical parasitics.

غالباً ثابت الوقت τ_{RC} ، يحد من عرض النطاق الترددي بسبب الكهربائية.

The numerical values of τ_{tr} and τ_{RC} depend on the detector design and can vary over a wide range.

وتعتمد القيم العددية ل τ_{tr} و τ_{RC} على تصميم الكاشف ويمكن أن تختلف على نطاق واسع.

The bandwidth of a photodetector is defined in a manner analogous to that of a RC circuit and is given by

ويعرف عرض نطاق الكاشف الضوئي بطريقة مماثلة لتلك الخاصة بالدائرة RC وتعطى بواسطة

$$\Delta f = [2\pi(\tau_{tr} + \tau_{RC})]^{-1}. \quad \text{.......... (9.9)}$$

As an example, when $\tau_{tr} = \tau_{RC} = 100$ ps,

the bandwidth of the photodetector is below 1 GHz. Clearly, both τ_{tr} and τ_{RC} should be reduced below 10 ps for photodetectors needed for lightwave systems operating at bit rates of 10 Gb/s or more.

عرض النطاق الترددي للكاشف الضوئي أقل من 1 كَيكَاهيرتز. ومن الواضح أن كلا من τ_{tr} و τ_{RC} ينبغي أن يقلا عن 10 ps للكاشف الضوئي اللازمة لأنظمة الموجات الضوئية التي تعمل بمعدل بتات 10 - كَيكَاهيرتز / ثانية أو أكثر.

Together with the bandwidth and the responsivity, the dark current *Id* of a photodetector is the third important parameter. Here, *Id* is the current generated in a photodetector in the absence of any optical signal and originates from stray light or from thermally generated electron–hole pairs. For a good photodetector, the dark current should be negligible ($I_d <$ 10 nA).

جنبا إلى جنب مع عرض النطاق الترددي و الحساسية، التيار المظلم *Id* للكاشف الضوئي هو الاعداد الهام الثالث. هنا، *Id* هو التيار المتولد في الكاشف الضوئي في غياب أي إشارة بصرية وينشأ من الضوء المنحرف أو من الحرارة نتيجة توليد أزواج الإلكترون فجوة.

للحصول على كاشف ضوئي جيد، يجب أن يهمل التيار المظلم ($I_d <$ 10 nA).

9.3 Common Photodetectors

The semiconductor slab of Fig. 9.3 is useful for illustrating the basic concepts but such a simple device is rarely used in practice. This section focuses on reverse-biased *p–n* junctions that are commonly used for making optical receivers.

3.9 أجهزة الكاشف الضوئي المشتركة

لوح أشباه الموصلات في الشكل 3.9 مفيد لتوضيح المفاهيم الأساسية ولكن نادرا ما يستخدم هذا الجهاز البسيط في الممارسة العملية. ويركز هذا القسم على نقطة الاتصال المنحازة عكسياً التي تستخدم عادة في p-n صنع المستقبلات البصرية.

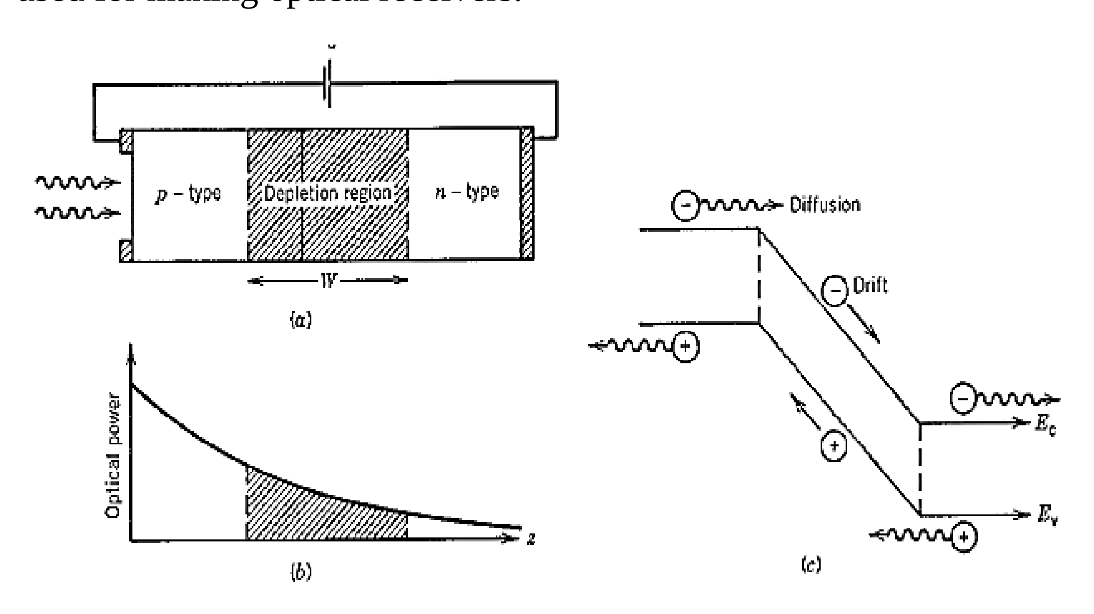


Figure 9.3: (a) A *p–n* photodiode under reverse bias; (b) variation of optical power inside the photodiode; (c) energy-band diagram showing carrier movement through drift and diffusion.

9.3.1 *p–n* Photodiodes

A reverse-biased *p–n* junction consists of a region, known as the *depletion region*, that is essentially devoid of free charge carriers and where a large built-in electric field opposes flow of electrons from the *n*-side to the *p*-side (and of holes from *p* to *n*).

1.3.9. الصمام الثنائي الضوئي p-n

ويتكون مفترق (p-n) المنحاز عكسي من منطقة تعرف باسم منطقة الاستنزاف التي لا تخلو أساسا من حاملات الشحن الحرة وحيث يعارض مجال كهربائي كبير مدمج تدفق (الإلكترونات من الجانب n إلى الجانب p) و(الفجوات من الجانب p إلى الجانب n).

When such a *p–n* junction is illuminated with light on one side, say the *p*-side (see Fig. 9.3), electron–hole pairs are created through absorption.

وعندما يضيء هذا التقاطع (p-n) مع الضوء على جانب واحد، انظر الجانب – p (الشكل 3.9)، تنشأ أزواج الإلكترون- فجوة من خلال الامتصاص.

Because of the large built-in electric field, electrons and holes generated inside the depletion region accelerate in opposite directions and drift to the *n*- and *p*-sides, respectively.

وبسبب المجال الكهربائي الكبير المدمج، تتسارع الإلكترونات والثقوب المتولدة داخل منطقة الاستنزاف في اتجاهين متعاكسين وتنتقل إلى الجانبين n و p على التوالي.

The resulting flow of current is proportional to the incident optical power. Thus a reverse-biased *p–n* junction acts as a photodetector and is referred to as the *p–n* photodiode.

إن التدفق الناتج من التيار يتناسب مع الطاقة الضوئية الساقطة. وبالتالي فإن منحنى (p-n) المنحاز عكسي يعمل بمثابة كاشف ضوئي ويشار إليها باسم الصمام الثنائي الضوئي (p-n).

Figure 9.3(a) shows the structure of a *p–n* photodiode. As shown in Fig. 9.3(b), optical power decreases exponentially as the incident light is absorbed inside the depletion region.

ويبين الشكل 3.9 (a) بنية الصمام الثنائي الضوئي (p-n). وكما هو مبين في الشكل 3.9 (b)، تنخفض القدرة البصرية أضعافا مضاعفة حيث يمتص الضوء الساقط داخل منطقة الاستنزاف.

The electron–hole pairs generated inside the depletion region experience a large electric field and drift rapidly toward the *p*- or *n*-side, depending on the electric charge [Fig. 9.3(c)].

وتتولد أزواج الإلكترون - فجوة داخل منطقة الاستنزاف بمجال كهربائي كبير وتنتقل بسرعة نحو الجانب p أو n، تبعا للشحنة الكهربائية الشكل 3.9 (c) .

The resulting current flow constitutes the photodiode response to the incident optical power in accordance with Eq. (9.1). The responsivity of a

ويشكل التدفق الحالي الناتج استجابة الصمام الثنائي الضوئي للطاقة الضوئية الساقطة وفقا للمعادلة (1.9). استجابة من الصمام الضوئي هي عالية جدا (R ~ 1 A / W) بسبب كفاءة الكم العالية.

photodiode is quite high ($R \sim 1$ A/W) because of a high quantum efficiency.

The bandwidth of a *p–n* photodiode is often limited by the transit time τ_{tr} in Eq. (9.9). If W is the width of the depletion region and v_d is the drift velocity, the transit time is given by:

عرض النطاق الترددي للصمام الضوئي (p-n) غالبا ما يقتصر على وقت العبور τ_{tr} كما في المعادلة (9.9). وإذا كان W هو عرض منطقة الاستنزاف و v_d هو سرعة الانجراف، يعطى وقت العبور بواسطة:

$$\tau_{tr} = W/v_d. \quad \text{..........} \quad (9.10)$$

Typically, $W \sim 10$ μm, $v_d \sim 105$ m/s, and $\tau_{tr} \sim 100$ ps. Both W and v_d can be optimized to minimize τ_{tr}.

عادة، W ~ 10 μm، $v_d \sim 105$ m/s، و $\tau_{tr} \sim 100$ ps. كل من W و v_d يمكن أن يكون الأمثل لتقليل τ_{tr}.

The depletion-layer width depends on the acceptor and donor concentrations and can be controlled through them.

يعتمد استنزاف طبقة العرض على تركيزات المتقبل والمانح ويمكن السيطرة عليها من خلالهم.

The velocity v_d depends on the applied voltage but attains a maximum value (called the *saturation velocity*) $\sim 10^5$ m/s that depends on the material used for the photodiode. The RC time constant τ_{RC} can be

سرعة v_d تعتمد على الجهد المطبق ولكنه يصل إلى قيمة قصوى (تسمى سرعة التشبع) $\sim 10^5$ m/s التي تعتمد على المواد المستخدمة للصمام الثنائي الضوئي. يمكن أن يكون الوقت ثابت τ_{RC} لـ RC

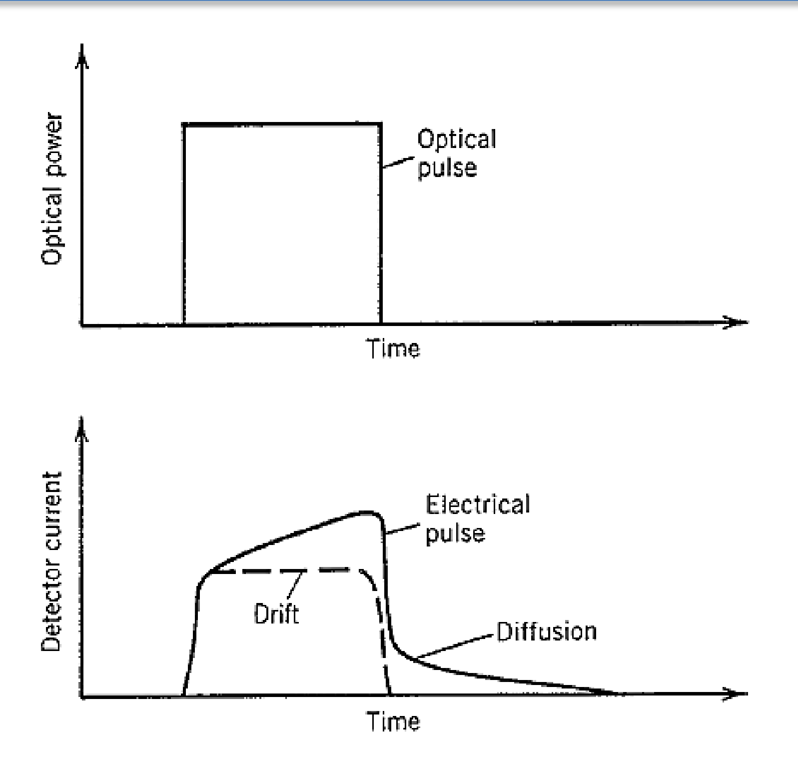


Figure 9.4: Response of a *p–n* photodiode to a rectangular optical pulse when both drift and diffusion contribute to the detector current.

Written as

$$\tau_{RC} = (R_L + R_s)C_p, \qquad \text{.......... (9.11)}$$

where R_L is the external load resistance, R_s is the internal series resistance, and C_p is the parasitic capacitance. Typically, $\tau_{RC} \sim 100$ ps, although lower values are possible with a proper design. Indeed, modern *p–n* photodiodes are capable of operating at bit rates of up to 40 Gb/s.

حيث R_L هو مقاومة الحمل الخارجية، R_s هي مجموعة المقاومات الداخلية، وC_p هو السعة الاضافية. عادة، $\tau_{RC} \sim 100$ ps ، على الرغم من أن القيم الدنيا ممكنة مع التصميم الملائم.

في الواقع، الصمامات الثنائية الضوئية (p-n) الحديثة قادرة على العمل بمعدلات بت تصل إلى 40 كيكابايت / ثانية.

The limiting factor for the bandwidth of *p–n* photodiodes is the presence of a diffusive component in the photocurrent. The physical origin of the diffusive component is related to the absorption of incident light outside the depletion region.

العامل المحدود لعرض نطاق الصمام الضوئي (p-n) هو وجود مكون ناشر في التيار الضوئي.

ويرتبط الأصل الفيزيائي للمكون المنتشر بامتصاص الضوء الساقط خارج منطقة الاستنزاف.

Electrons generated in the *p*-region have to diffuse to the depletion-region boundary before they can drift to the *n*-side; similarly, holes generated in the *n*-region must diffuse to the depletion-region boundary.

توليد الإلكترونات في منطقة p يجب أن تنتشر إلى حدود منطقة الاستنزاف قبل أن يتمكنوا من الانجراف إلى الجانب-*n*؛ وبالمثل، يجب أن تنتشر الفجوات المتولدة في المنطقة n إلى حدود منطقة الاستنزاف قبل أن يتمكنوا من الانجراف إلى الجانب -p.

Diffusion is an inherently slow process; carriers take a nanosecond or longer to diffuse over a distance of about 1 μm. Figure 9.4 shows how the presence of a diffusive component can distort the temporal response of a photodiode.

الانتشار هو عملية بطيئة بطبيعتها. تأخذ الناقلات نانو ثانية أو أطول للنشر على مسافة حوالي 1 ميكرون. ويبين الشكل 4.9 كيف أن وجود عنصر منتشر يمكن أن تشوه الاستجابة الزمنية من الصمام الضوئي.

The diffusion contribution can be reduced by decreasing the widths of the *p*- and *n*-regions and increasing the depletion-region width so that most of the incident optical power is absorbed inside it. This is the approach adopted for *p–i–n* photodiodes.

ويمكن تخفيض مساهمة الانتشار عن طريق خفض عرض المناطق p و n وزيادة عرض استنزاف المنطقة بحيث يتم امتصاص معظم الطاقة الضوئية الساقطة داخله. هذا هو النهج المعتمدة للصمامات الضوئية p-i-n.

9.3.2 *p–i–n* Photodiodes

2.3.9 الصمام الثنائي الضوئي p-i-n

A simple way to increase the depletion-region width is to insert a layer of undoped (or lightly doped) semiconductor material between the *p–n* junction. Since the middle

طريقة بسيطة لزيادة عرض استنزاف المنطقة هو إدراج طبقة من مادة أشباه الموصلات غير مشوبة (أو قليلة التشويب) بين تقاطع p-n. عند المنتصف

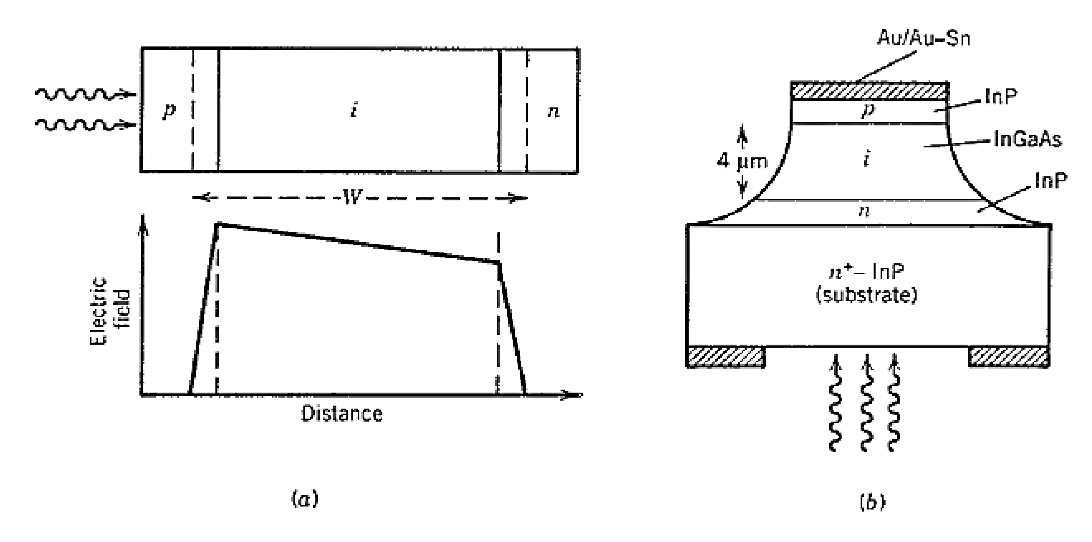


Figure 9.5: (a) A *p–i–n* photodiode together with the electric-field distribution under reverse bias; (b) design of an InGaAs *p–i–n* photodiode.

layer consists of nearly intrinsic material, such a structure is referred to as the *p–i–n* photodiode.

Figure 9.5(a) shows the device structure together with the electric-field distribution inside it under reverse-bias operation. Because of its intrinsic nature, the middle *i*-layer offers a high resistance, and most of the voltage drop occurs across it.

طبقة تتكون من مواد مهمة تقريبا، ويشار إلى هذا التركيب باسم الصمام الضوئي (*p–i–n*).

ويبين الشكل 5.9 (a) بنية الجهاز مع توزيع المجال الكهربائي داخله تحت عملية الانحياز العكسي. بسبب طبيعتها المهمة، وسط طبقة-*i* تقدم مقاومة عالية، و يحدث عبر ذلك معظم انخفاض الجهد.

As a result, a large electric field exists in the *i*-layer. In essence, the depletion region extends throughout the *i*-region, and its width *W* can be controlled by changing the middle-layer thickness.

ونتيجة لذلك، يوجد مجال كهربائي كبير في جوهر الطبقة i، تمتد منطقة الاستنزاف في جميع أنحاء المنطقة-*i* ، وعرضها W يمكن السيطرة عليها عن طريق تغيير سمك الطبقة المتوسطة.

The main difference from the *p–n* photodiode is that the drift component of the photocurrent dominates over the diffusion component simply because most of the incident power is absorbed inside the *i*-region of a *p–i–n* photodiode.

والفرق الرئيسي من الصمام الثنائي p-n هو أن عنصر الانجراف من التيار الضوئي يهيمن ببساطة على عنصر النشر لأن معظم الطاقة الساقطة تمتص داخل المنطقة i من الصمام الضوئي p-i-n.

Since the depletion width *W* can be tailored in *p–i–n* photodiodes, a natural question is how large *W* should be.

وبما أن عرض الاستنزاف W يمكن أن يكون مصمما في الصمام الضوئي p-i-n، فإن السؤال الطبيعي هو كيف ينبغي أن تكون W كبيرة.

As discussed in Section 9.2, the optimum value of *W* depends on a compromise between speed and sensitivity.

وكما نوقش في القسم 2.9، فإن القيمة المثلى لـ W تعتمد على حل وسط بين السرعة والحساسية.

The responsivity can be increased by increasing *W* so that the quantum efficiency η approaches 100% [see Eq. (9.5)].

يمكن زيادة الاستجابة من خلال زيادة W بحيث كفاءة الكم η يقترب من 100٪ [انظر المعادلة (5.9)].

However, the response time also increases, as it takes longer for carriers to drift across the depletion region. For indirect-bandgap semiconductors such as Si and Ge, typically *W* must be in the range 20–50 μm to ensure a reasonable quantum efficiency.

ومع ذلك، يزداد زمن الاستجابة أيضا، لأن الأمر يستغرق وقتا أطول بالنسبة إلى الموجات الحاملة للانجراف عبر منطقة الاستنزاف. وبالنسبة إلى أشباه الموصلات ذات النطاق العريض غير المباشر مثل السيليكون Si و الجرمانيوم Ge ، يجب أن تكون W عادة في المدى 20-50 ميكرون لضمان كفاءة كم معقولة.

The bandwidth of such photodiodes is then limited by a relatively long transit time (τ_{tr} > 200 ps). By contrast, *W* can be as small as 3–5 μm for photodiodes that use direct-bandgap semiconductors, such as InGaAs. The transit time for such photodiodes is τ_{tr} ~ 10 ps. Such values of τ_{tr} correspond to a detector bandwidth Δf ~ 10 GHz if we use Eq. (9.9) with $\tau_{tr} >> \tau_{RC}$.

ثم يقتصر عرض نطاق هذه الصمامات الضوئية بوقت عبور طويل نسبيا (τ_{tr} > 200 ps). على النقيض من ذلك، يمكن أن يكون W صغيرة مثل 3-5 ميكرون للصمام الضوئي التي تستخدم أشباه الموصلات فجوة النطاق المباشر، مثل InGaAs. وقت العبور لمثل هذه الصمامات الضوئية هو τ_{tr} ~ 10 ps. هذه القيم τ_{tr} تتوافق مع عرض نطاق الكاشف Δf ~ 10 GHz إذا كنا نستخدم معادلة. (9.9) مع $\tau_{tr} >> \tau_{RC}$.

The performance of *p–i–n* photodiodes can be improved considerably by using a double-hetero structure design. Similar to the case of semiconductor lasers, the middle *i*-type layer is sandwiched between the *p*-type and *n*-type layers of a different semiconductor whose bandgap is chosen such that light is absorbed only in the middle *i* layer.

ويمكن تحسين أداء الصمام الثنائي p-i-n إلى حد كبير باستخدام تصميم تركيب مغايرمزدوج. وعلى غرار حالة أشباه الموصلات أشعة الليزر، تقع الطبقة المتوسطة من النوع i بين الطبقات من نوع p و n من أشباه الموصلات المختلفة التي يتم اختيار نطاقها بحيث يتم امتصاص الضوء فقط في الطبقة المتوسطة i.

A *p–i–n* photodiode commonly used for lightwave applications uses InGaAs for the middle layer and InP for the surrounding *p*-type and *n*-type layers. Figure 9.5(b)

يستخدم الصمام الضوئي p-i-n شائعة الاستخدامات لتطبيقات الموجات الضوئية InGaAs للطبقة الوسطى و InP للطبقات المحيطة من نوع p و نوع n. الشكل 5.9 (b)

Table 9.1 Characteristics of common *p–i–n* photodiodes

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength	λ	μm	0.4–1.1	0.8–1.8	1.0–1.7
Responsivity	R	A/W	0.4–0.6	0.5–0.7	0.6–0.9
Quantum efficiency	η	%	75–90	50–55	60–70
Dark current	I_d	nA	1–10	50–500	1–20
Rise time	T_r	ns	0.5–1	0.1–0.5	0.02–0.5
Bandwidth	Δf	GHz	0.3–0.6	0.5–3	1–10
Bias voltage	V_b	V	50–100	6–10	5–6

shows such an InGaAs *p–i–n* photodiode. Since the bandgap of InP is 1.35 eV, InP is transparent for light whose wavelength exceeds 0.92 µm.

يظهرمثل InGaAs الصمام الضوئي p-i-n. لفجوة النطاق من InP هو 1.35 eV، InP شفافة للضوء الذي يتجاوز الطول الموجي 0.92 µm.

By contrast, the bandgap of lattice-matched In1−*x*Ga*x*As material with *x* = 0.47 is about 0.75 eV, a value that corresponds to a cutoff wavelength of 1.65 µm.

على النقيض من ذلك، فإن فجوة النطاق من تطابق الشبكة مع مواد In1−*x*Ga*x*As x = 0.47 حوالي 0.75 eV، وهي قيمة التي تقابل طول موجي القطع من 1.65 µm.

The middle In- GaAs layer thus absorbs strongly in the wavelength region 1.3–1.6 µm. The diffusive component of the detector current is eliminated completely in such a heterostructure photodiode simply because photons are absorbed only inside the depletion region.

وبالتالي، فإن طبقة In- GaAs الوسطى تمتص بقوة في منطقة الطول الموجي 1.3-1.6 ميكرون. يتم القضاء على عنصر منتشر من التيار للكشف تماما في مثل هذه التركيب المغاير للصمام الضوئي ببساطة لأن يتم امتصاص الفوتونات فقط داخل منطقة الاستنزاف.

The front facet is often coated using suitable dielectric layers to minimize reflections. The quantum efficiency η can be made almost 100% by using an InGaAs

وغالبا ما يتم طلاء الواجهة الأمامية باستخدام طبقات عازلة مناسبة لتقليل الانعكاسات. يمكن أن تكون كفاءة الكم η تقريبا 100٪ باستخدام طبقة InGaAs سميكة 4-5 ميكرون. الصمام الضوئي InGaAs مفيدة

layer 4–5 μm thick. InGaAs photodiodes are quite useful for lightwave systems and are often used in practice. Table 9.1 lists the operating characteristics of three common *p–i–n* photodiodes.

جدا لأنظمة الامواج الضوئية وغالبا ما تستخدم في التطبيقات العملية. ويعرض الجدول 1.9 الخصائص التشغيلية لثلاثة صمامات ضوئية من طراز p-i-n.

Considerable effort was directed during the 1990s toward developing high-speed *p–i–n* photodiodes capable of operating at bit rates exceeding 10 Gb/s.

وقد تم توجيه جهد كبير خلال التسعينات نحو تطوير صمام ضوئي عالي السرعة من طراز p-i-n قادر على العمل بمعدلات تفوق 10 كيكابايت/ ثانية.

Bandwidths of up to 70 GHz were realized as early as 1986 by using a thin absorption layer (< 1 μm) and by reducing the parasitic capacitance *Cp* with a small size, but only at the expense of a lower quantum efficiency and responsivity. By 1995, *p–i–n* photodiodes exhibited a bandwidth of 110 GHz for devices designed to reduce τ_{RC} to near 1ps.

تم تحقيق عرض النطاق الترددي حتى 70 كيكاهرتز في وقت مبكر من عام 1986 باستخدام طبقة امتصاص رقيقة (< 1 μm) وعن طريق الحد من السعة الاضافية *Cp* مع حجم صغير، ولكن فقط على حساب كفاءة الكم أقل والاستجابة اقل.

بحلول عام 1995، عرض صمام ضوئي p-i-n عرض النطاق الترددي 110 كيكاهرتز للأجهزة المصممة للحد من τ_{RC} إلى ما يقرب من 1ps.

Several techniques have been developed to improve the efficiency of high-speed photodiodes.

وقد تم تطوير العديد من التقنيات لتحسين كفاءة الصمام الضوئي عالية السرعة.

In one approach, a Fabry–Perot (FP) cavity is formed around the *p–i–n* structure to enhance the quantum efficiency, resulting in a laserlike structure.

في أحد الاساليب، يتم تشكيل تجويف فابري بيرو (FP) حول بنية p-i-n لتعزيز كفاءة الكم، مما أدى إلى بنية ليزرليك.

FP cavity has a set of longitudinal

يحتوي تجويف فابري بيرو على مجموعة

modes at which the internal optical field is resonantly enhanced through constructive interference. As a result, when the incident wavelength is close to a longitudinal mode, such a photodiode exhibits high sensitivity.

من الأساليب الطولية التي يتم فيها تعزيز المجال البصري الداخلي بشكل متكرر من خلال التداخل البناء. ونتيجة لذلك، عندما يكون طول الموجة الساقط على مقربة من الوضع الطولي، مثل هذا الصمام الضوئي يحمل حساسية عالية.

The wavelength selectivity can even be used to advantage in wavelength-division multiplexing (WDM) applications.

ويمكن استخدام انتقائية الطول الموجي للاستفادة من تطبيقات تعدد الإرسال بتقسيم الطول الموجي (WDM).

A nearly 100% quantum efficiency was realized in a photodiode in which one mirror of the FP cavity was formed by using the Bragg reflectivity of a stack of AlGaAs/AlAs layers.

تم تحقيق كفاءة كمية ما يقرب من 100٪ في الثنائي الضوئي الذي تم تشكيل مرآة واحدة من تجويف فابري بيرو باستخدام انعكاس براغ من حزم طبقات AlGaAs/AlAs.

This approach was extended to InGaAs photodiodes by inserting a 90-nm-thick InGaAs absorbing layer into a microcavity composed of a GaAs/AlAs Bragg mirror and a dielectric mirror.

وتم توسيع هذا النهج ليشمل الصمام الضوئي InGaAs عن طريق ادخال طبقة امتصاص بسمك 90 نانومتر InGaAs في تجويف صغير تتألف من GaAs/AlAs مرآة براغ ومرآة عازلة.

The device exhibited 94% quantum efficiency at the cavity resonance with a bandwidth of 14 nm. By using an air-bridged metal waveguide together with an undercut mesa

يعرض الجهاز كفاءة الكم 94% في رنين التجويف مع عرض النطاق الترددي 14 نانومتر. عن طريق استخدام الدليل الموجي المعدني الهواء جنبا إلى جنب مع طول موجي قطع ميسا.

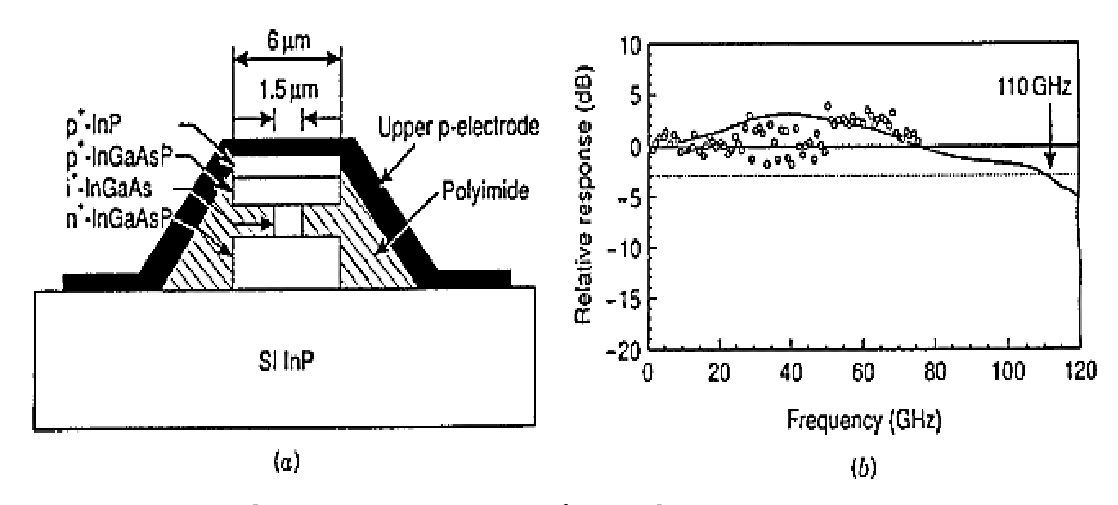


Figure 9.6: (a) Schematic cross section of a mushroom-mesa waveguide photodiode and (b) its measured frequency response. (After Ref. [17]; _c 1994 IEEE; reprinted with permission.) Structure, a bandwidth of 120 GHz has been realized. The use of such a structure within a FP cavity should provide a *p–i–n* photodiode with a high bandwidth and high efficiency.

Another approach to realize efficient high-speed photodiodes makes use of an optical waveguide into which the optical signal is edge coupled. Such a structure resembles an unpumped semiconductor laser except that various epitaxial layers are optimized differently.

وثمة اسلوب آخر لتحقيق كفاءة الصمامات الضوئية عالية السرعة يجعل من استخدام الدليل الموجي الضوئي الذي يقترن مع حافة الإشارة الضوئية. مثل هذا التركيب يشبه ليزر أشباه الموصلات غير مسبوق إلا أن يتم تحسين بشكل مختلف الطبقات العليا.

In contrast with a semiconductor laser, the waveguide can be made wide to support multiple transverse modes in order to improve the coupling efficiency.

على النقيض من ليزر أشباه الموصلات، الدليل الموجي يمكن أن تكون واسعة لدعم وسائط عرضية متعددة من أجل تحسين كفاءة الاقتران.

Since absorption takes place along the length of the optical waveguide (~ 10 μm), the quantum efficiency can be nearly 100% even for an ultrathin absorption layer.

بما أن الامتصاصية تجري على طول الدليل الموجي البصري (~ 10 ميكرون)، يمكن أن تكون كفاءة الكم ما يقرب من 100%حتى بالنسبة لطبقة امتصاص رقيقة جداً.

The bandwidth of such *waveguide photodiodes* is limited by τ_{RC} in Eq. (9.9), which can be decreased by controlling the waveguide cross-section-area. Indeed, a 50-GHz bandwidth was realized in 1992 for a waveguide photodiode.

ويقتصر عرض النطاق الترددي للصمامات الضوئية للدليل الموجي بواسطة τ_{RC} في معادلة (9.9)، والتي يمكن أن تنخفض عن طريق التحكم في المقطع العرضي لمنطقة الدليل الموجي. والواقع أن عرض النطاق 50 كيگاهيرتز قد تحقق في عام 1992 من أجل الصمام الضوئي للدليل الموجي.

The bandwidth of waveguide photodiodes can be increased to 110 GHz by adopting a mushroom-mesa waveguide structure.

ويمكن زيادة عرض نطاق الصمام الضوئي الدليل الموجي إلى 110 كيگاهيرتز من خلال اعتماد تركيب الدليل الموجي لفطر ميسا (mushroom-mesa).

Such a device is shown schematically in Fig. 9.6. In this structure, the width of the *i*-type absorbing layer was reduced to 1.5 μm while the *p*- and *n*-type cladding layers were made 6 μm wide.

ويظهر هذا الجهاز بشكل تخطيطي في الشكل 6.9. في هذا الهيكل، تم تقليل عرض طبقة امتصاص من نوع i إلى 1.5 ميكرون في حين تم إجراء طبقات الكسوة من النوعين p وعرض 6 ميكرون .

In this way, both the parasitic capacitance and the internal series resistance were minimized, reducing τ_{RC} to about 1ps. The frequency response of such a device at the 1.55-μm wavelength is also shown in Fig. 9.6.

وبهذه الطريقة، تم تقليل كل من السعة المضافة ومقاومة المجموعة الداخلية، مما يقلل من τ_{RC} إلى حوالي 1ps. ويظهر الشكل 6.9 استجابة التردد لمثل هذا الجهاز عند طول الموجة 1.55 ميكرون.

It was measured by using a spectrum analyzer (circles) as well as taking the Fourier transform of the short-pulse response (solid curve). Clearly, waveguide *p–i–n* photodiodes can provide both a high responsivity and a large bandwidth.

تم قياسه باستخدام دائرة محلل الطيف وكذلك أخذ تحويل فورييه للاستجابة النبض القصيرة (منحنى ثابت). ومن الواضح أن الدليل الموجي p-i-n للصمام الضوئي يمكن أن توفر كلا من الاستجابة العالية وعرض النطاق الواسع.

Waveguide photodiodes have been used for 40-Gb/s optical receivers and have the potential for operating at bit rates as high as 100 Gb/s.

وقد استخدمت الصمامات الضوئية الدليل الموجي لاستقبال بصري 40 كَيكَابايت/ثانية ولها القدرة على العمل بمعدلات بت تصل إلى 100 كَيكَابايت/ثانية.

The performance of waveguide photodiodes can be improved further by adopting an electrode structure designed to support traveling electrical waves with matching impedance to avoid reflections. Such photodiodes are called *traveling-wave photodetectors*.

ويمكن تحسين أداء الصمام الضوئي للدليل الموجي أبعد من خلال اعتماد هيكل القطب الكهربائي والمصممة لدعم الموجات الكهربائية التي تسير مع مقاومة مطابقة لتجنب الانعكاسات. ويسمى هذه الصمام الضوئي بالكواشف الضوئية للموجة المحمولة.

In a GaAs-based implementation of this idea, a bandwidth of 172 GHz with 45% quantum efficiency was realized in a traveling-wave photodetector designed with a 1-μm-wide waveguide. By 2000, such an InP/InGaAs photodetector exhibited a bandwidth of 310 GHz in the 1.55-μm spectral region.

في تطبيق قائم على GaAs من هذه الفكرة، تم تحقيق عرض نطاق قدره 172 كَيكَاهيرتز مع كفاءة كمية قدرها 45% في الكاشف الضوئي الموجة المحمولة المصممة مع الدليل الموجي عريض 1 ميكرون. وبحلول عام 2000، هذا الصمام الضوئي InP/InGaAs له عرض نطاق قدره 310 كَيكَاهيرتز في المنطقة الطيفية 1.55 ميكرون.

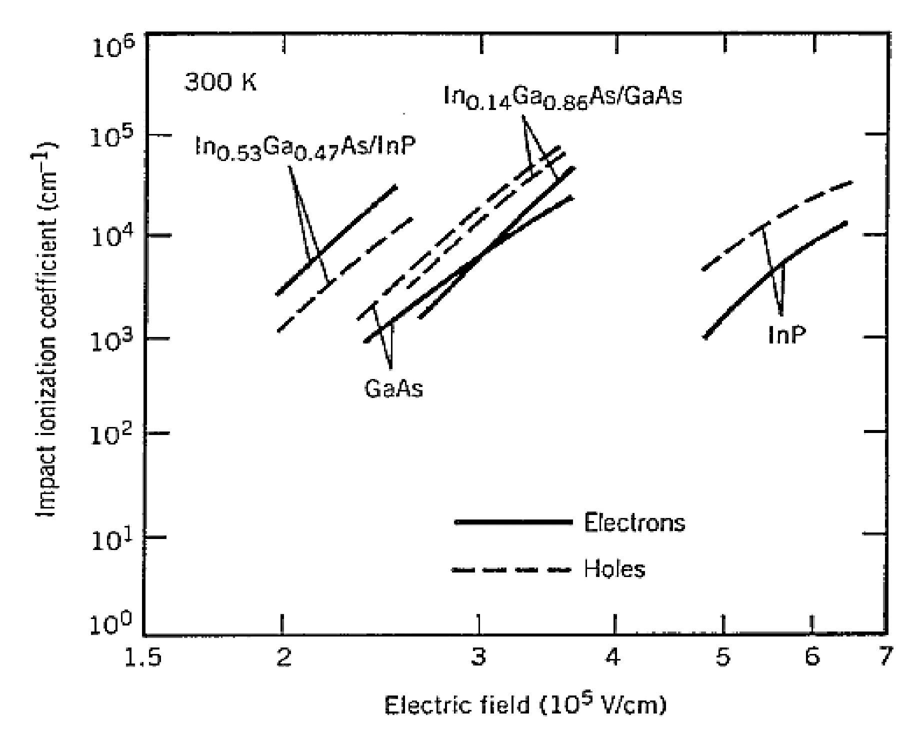


Figure 9.7: Impact-ionization coefficients of several semiconductors as a function of the electric field for electrons (solid line) and holes (dashed line).

9.4 Receiver Design

4.9 تصميم المُستقبِل

The design of an optical receiver depends on the modulation format used by the transmitter.

ويتوقف تصميم المستقبل البصري على بنية التضمين الذي يستخدمه المرسل.

Since most lightwave systems employ the binary intensity modulation, we focus in this chapter on digital optical receivers. Its components can be arranged into three groups:

1) the front end.
2) the linear channel
3) the decision circuit.

وبما أن معظم أنظمة الموجات الضوئية تستخدم تضمين الشدة الثنائي، فإننا نركز في هذا الفصل على المستقبلات البصرية الرقمية. ويمكن ترتيب مكوناته في ثلاث مجموعات:

1) الواجهة الأمامية.
2) القناة الخطية.
3) دائرة القرار.

9.4.1 Front End

The front end of a receiver consists of a photodiode followed by a preamplifier. The optical signal is coupled onto the photodiode by using a coupling scheme similar to that used for optical transmitters butt coupling is often used in practice.

The photodiode converts the optical bit stream into an electrical time-varying signal. The role of the preamplifier is to amplify the electrical signal for further processing.

The design of the front end requires a trade-off between speed and sensitivity. Since the input voltage to the preamplifier can be increased by using a large load resistor R_L, a high-impedance front end is often used [see Fig. 9.8(a)]. a large R_L reduces the thermal noise and improves the receiver sensitivity.

The main drawback of high-impedance front end is its low bandwidth given by

$\Delta f = (2\pi R_L C_T)^{-1}$, where $R_s \ll R_L$ is assumed in Eq. (9.11) and

$C_T = C_p + C_A$ is the total capacitance, which includes the contributions from the photodiode (C_p) and the transistor used for amplification (C_A). The receiver bandwidth is limited by its slowest

1.4.9 الواجهة الأمامية

تتكون الواجهة الأمامية لجهاز الاستقبال من الصمام الضوئي يليه مضخم صوت. تقترن الإشارة الضوئية على الصمام الضوئي باستخدام مخطط اقتران مماثل لتلك المستخدمة للمرسلات الضوئية وغالبا ما يستخدم الاقتران بعد الممارسة العملية.

يحول الصمام الضوئي تيار البتات الضوئية إلى إشارة متغيرة زمنيا. دور المضخم الأولي هو تضخيم إشارة كهربائية لمزيد من المعالجة.

تصميم الواجهة الأمامية يتطلب مفاضلة بين السرعة والحساسية. ويمكن زيادة جهد المدخلات إلى المضخم الأولي باستخدام مقاومة تحميل كبيرة R_L ، وغالبا ما تستخدم الواجهة الأمامية مقاومة عالية [انظر الشكل 8.9 (a)]. فإن R_L كبير يقلل من الضوضاء الحرارية ويحسن حساسية المستقبل.

والعيب الرئيسي للواجهة الأمامية ذات المقاومة العالية هو عرض النطاق الترددي المنخفض الذي تعطيه

$\Delta f = (2\pi R_L C_T)^{-1}$

حيث يفترض $R_s \ll R_L$ في المعادلة (11.9).

$C_T = C_p + C_A$ هو السعة الكلية، والتي تشمل المساهمات من الثنائي الضوئي (C_p) والترانزستور المستخدمة للتضخيم (C_A). ويقتصر عرض نطاق المستقبل ببطء

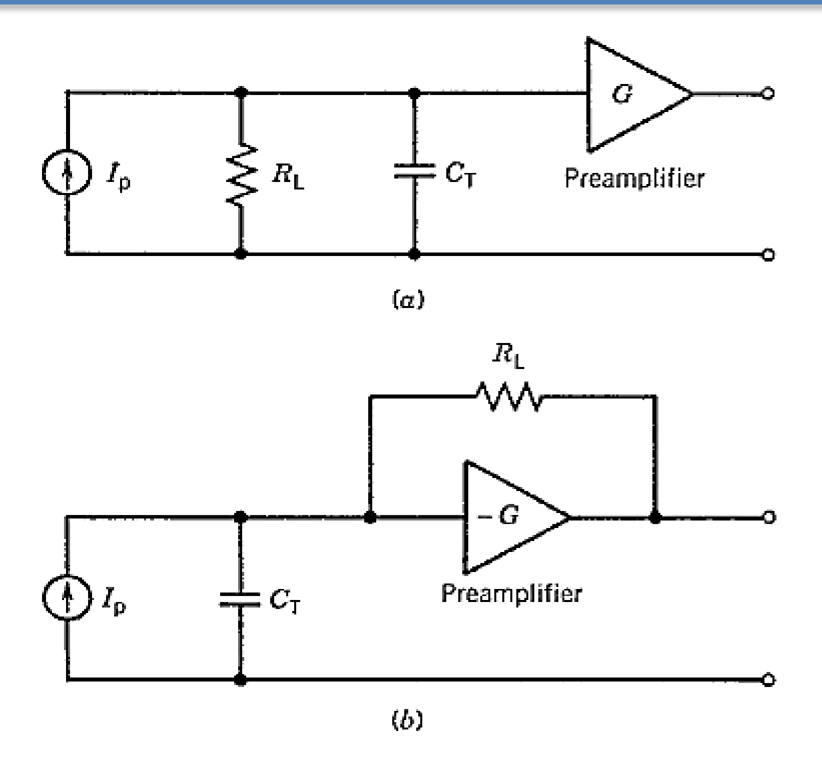


Figure 9.8: Equivalent circuit for (a) high-impedance and (b) transimpedance front ends in optical receivers. The photodiode is modeled as a current source in both cases. Component.

A high-impedance front end cannot be used if Δf is considerably less than the bit rate. An equalizer is sometimes used to increase the bandwidth. The equalizer acts as a filter that attenuates low-frequency components of the signal more than the high-frequency components, thereby effectively increasing the front-end bandwidth. If the receiver sensitivity is not of concern, one can simply decrease R_L to increase the bandwidth, resulting in a low-impedance front end.

ولا يمكن استعمال واجهة أمامية مقاومة عالية إذا كانت Δf أقل بكثير من معدل البتات.

ويستخدم التعادل أحيانا لزيادة عرض النطاق الترددي. ويعمل التعادل كمرشاح يخفف مكونات التردد المنخفض للإشارة أكثر من المكونات عالية التردد، مما يزيد من عرض النطاق الأمامي بشكل فعال. وإذا كانت حساسية المستقبل ليست مثيرة للقلق، يمكن للمرء ببساطة أن يقلل R_L لزيادة عرض النطاق، مما يؤدي إلى واجهة أمامية منخفضة المقاومة.

Transimpedance front ends provide a configuration that has high sensitivity together with a large bandwidth. Its dynamic range is also improved compared with high-impedance front ends. As seen in Fig. 9.8 (b), the load resistor is connected as a feedback resistor around an inverting amplifier.

تزود النهايات الأمامية المقاومة البادئة التكوين الذي لديها حساسية عالية جنبا إلى جنب مع عرض النطاق الترددي الكبير. كما تم تحسين مجموعة ديناميكية مقارنة مع الجبهة الأمامية مقاومة عالية. كما هو مبين في الشكل 8.9 (b) يتم توصيل المقاوم للحمل كمقاوم للتغذية المرتدة حول مكبر للصوت المعكوس.

Even though R_L is large, the *negative feedback* reduces the effective input impedance by a factor of *G*, where *G* is the amplifier gain. The bandwidth is thus enhanced by a factor of *G* compared with highimpedance front ends.

على الرغم من أن R_L كبير، فإن التغذية الراجعة السلبية تقلل من مقاومة المدخلات الفعالة بعامل G، حيث G هو كسب مكبر للصوت. وبالتالي فإن عرض النطاق الترددي يعزز بعامل G بالمقارنة مع النهايات الأمامية المرتفعة.

Transimpedance front ends are often used in optical receivers because of their improved characteristics. A major design issue is related to the stability of the feedback loop.

وغالبا ما تستخدم النهايات الأمامية المقاومة للاستقبال في المستقبلات البصرية بسبب خصائصها المحسنة. وتتعلق مسألة التصميم الرئيسية باستقرار حلقة التغذية المرتدة.

9.4.2 Linear Channel

2.4.9 القناة الخطية

The linear channel in optical receivers consists of a high-gain amplifier (the main amplifier) and a low-pass filter. An equalizer is sometimes included just before the amplifier to correct for the limited bandwidth of the front end.

وتتألف القناة الخطية في المستقبلات البصرية من مكبر عالي الكسب (مكبر رئيسي للصوت) ومرشح تمرير منخفض. يتم تضمين التعادل أحياناً قبل مكبر للصوت لتصحيح عرض النطاق الترددي المحدود للواجهة الأمامية.

The amplifier gain is controlled automatically to limit the average output voltage to a fixed level

ويتم التحكم في كسب مكبر الصوت تلقائيا للحد من متوسط جهد التيار الكهربائي إلى مستوى ثابت بغض النظر عن متوسط الطاقة

irrespective of the incident average optical power at the receiver. The low-pass filter shapes the voltage pulse.

الضوئية في المستقبل.مرشح تمرير منخفض يشكل نبضة الجهد.

Its purpose is to reduce the noise without introducing much *intersymbol interference* (ISI).

والغرض منه هو تقليل الضوضاء دون إدخال الكثير من التداخلات بين الرموز (ISI).

The receiver noise is proportional to the receiver bandwidth and can be reduced by using a low-pass filter whose bandwidth Δf is smaller than the bit rate.

تتناسب ضوضاء المستقبِل مع عرض نطاق المستقبل ويمكن تخفيضها باستعمال مرشح تمرير منخفض يكون عرض نطاقه Δf أصغر من معدل البتات.

Since other components of the receiver are designed to have a bandwidth larger than the filter bandwidth, the receiver bandwidth is determined by the low-pass filter used in the linear channel.

وبما أن المكونات الأخرى للمستقبل مصممة بحيث يكون عرض نطاقها أكبر من عرض نطاق المرشح، يتحدد عرض نطاق المستقبل بواسطة مرشح التمرير المنخفض المستخدم في القناة الخطية.

For $\Delta f < B$, the electrical pulse spreads beyond the allocated bit slot.

وبالنسبة إلى $\Delta f < B$ ، تنتشر النبضة الكهربائية خارج فتحة البتات المخصصة.

Such a spreading can interfere with the detection of neighboring bits, a phenomenon referred to as ISI.

مثل هذا الانتشار يمكن أن يتداخل مع الكاشف مع البتات المجاورة، وهي ظاهرة يشار إليها باسم التداخل بين الرموز (ISI).

It is possible to design a low-pass filter in such a way that ISI is minimized. Since the combination of preamplifier, main amplifier, and the filter acts as a linear system (hence the name *linear channel*), the output voltage can be written as

ومن الممكن تصميم مرشح تمرير منخفض في مثل هذه الطريقة التي يتم تقليل ISI. بما أن الجمع بين المضخم، مكبر للصوت الرئيسي، والمرشح يعمل كنظام خطي (وبالتالي اسم القناة الخطية)، يمكن ان يكون الجهد الناتج كما يلي

$$V_{\text{out}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} z_T(t-t')I_p(t')\,dt', \quad \text{..........} \quad (9.12)$$

where $I_p(t)$ is the photocurrent generated in response to the incident optical power ($I_p = RP_{\text{in}}$). In the frequency domain,

حيث $I_p(t)$ هو التيار الضوئي والذي ولدت رداً على الطاقة الضوئية الساقطة ($I_p = RP_{\text{in}}$). في مجال التردد،

$$\tilde{V}_{\text{out}}(\omega) = Z_T(\omega)\tilde{I}_p(\omega), \quad \text{..........} \quad (9.13)$$

where Z_T is the total impedance at the frequency ω and a tilde represents the Fourier transform. Here, Z_T (ω) is determined by the transfer functions associated with various receiver components and can be written as

حيث Z_T هي المقاومة الكلية عند التردد ω ويمثل تيلد تحويل فورييه. وهنا يتم تحديد Z_T (ω) بوظائف النقل المرتبطة بمكونات مستقبلية مختلفة ويمكن كتابتها على أنها

$$Z_T(\omega) = G_p(\omega)G_A(\omega)H_F(\omega)/Y_{\text{in}}(\omega), \text{..........} \quad (9.14)$$

where Y_{in}(ω) is the input admittance and G_p(ω), G_A(ω), and H_F(ω) are transfer functions of the preamplifier, the main amplifier, and the filter. It is useful to isolate the frequency dependence of ˜Vout(ω) and ˜Ip(ω) through normalized spectral functions H_{out}(ω) and H_p(ω), which are related to the Fourier transform of the output and input pulse shapes, respectively, and write Eq. (9.13) as

حيث بين Y_{in}(ω) هو قبول المدخلات

G_p(ω) : هي دالة نقل المضخم الأولي.

G_A(ω) : مكبر للصوت الرئيسي.

H_F(ω) :المرشح.

ومن المفيد عزل الاعتماد على التردد من˜Vout(ω) ˜Ip(ω), خلال الدالات الطيفية المقيسة H_{out}(ω) و H_p(ω)، التي ترتبط بتحويل فورييه لأشكال النبضات والإدخال، على التوالي ، وكتابة المعادلة . (13.9) يصبح

$$H_{out}(\omega) = H_T(\omega)H_p(\omega), \qquad \text{..........} \quad (9.15)$$

where H_T (ω) is the total transfer function of the linear channel and is related to the total impedance as H_T (ω) = Z_T (ω)/Z_T (0). If the amplifiers have a much larger bandwidth than the low-pass filter, H_T (ω) can be approximated by H_F (ω).

حيث H_T (ω) هي دالة التحويل الكلية للقناة الخطية وترتبط بالمقاومة الكلية على النحو H_T (ω) = Z_T (ω)/Z_T (0).

وإذا كان للمكبرات عرض نطاق أكبر بكثير من مرشح التمرير المنخفض، يمكن تقريب H_T (ω) بواسطة H_F (ω).

The ISI is minimized when H_{out}(ω) corresponds to the transfer function of a *raisedcosine filter* and is given by:

يتم تقليل ISI عندما تتوافق H_{out}(ω) مع دالة تحويل مرشح جيب التمام ويعطى من قبل:

$$H_{out}(f) = \begin{cases} \frac{1}{2}[1+\cos(\pi f/B)], & f < B, \\ 0, & f \geq B, \end{cases} \qquad \text{..........} \quad (9.16)$$

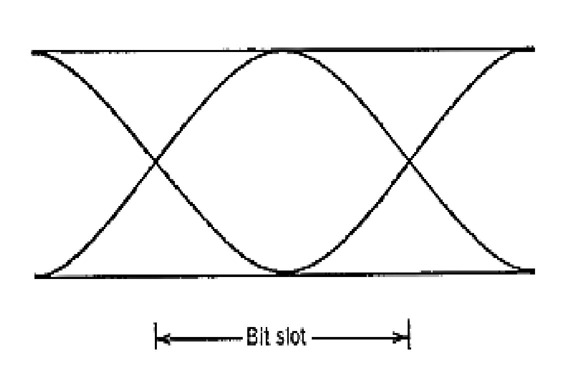
where f = ω/2π and B is the bit rate. The impulse response, obtained by taking the Fourier transform of $H_{out}(f)$, is given by

حيث f = ω / 2π و B هو معدل البتات. وتعطى استجابة النبضة، التي تم الحصول عليها عن طريق أخذ تحويل فورييه من $H_{out}(f)$، من قبل

$$h_{out}(t) = \frac{\sin(2\pi Bt)}{2\pi Bt} \frac{1}{1-(2Bt)^2}. \qquad \text{..........} \quad (9.17)$$

The functional form of $h_{out}(t)$ corresponds to the shape of the voltage pulse $V_{out}(t)$ received by the decision circuit. At the decision instant t = 0, $h_{out}(t)$ = 1, and the

الشكل الوظيفي لـ $h_{out}(t)$ يتوافق مع شكل نبض الجهد $V_{out}(t)$ التي وردت من قبل دائرة القرار. في الوقت الحالي
t = 0
$h_{out}(t)$ = 1



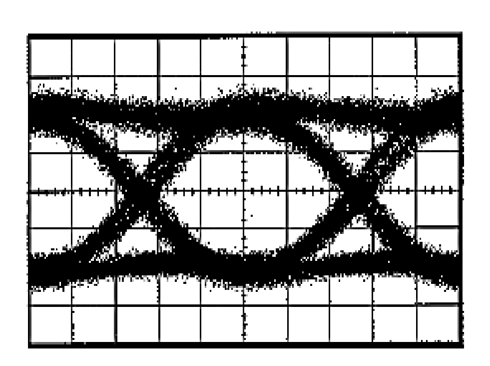


Figure 9.9: Ideal and degraded eye patterns for the NRZ format.

signal is maximum. At the same time, $h_{out}(t) = 0$ for $t = m/B$, where m is an integer. Since $t = m/B$ corresponds to the decision instant of the neighboring bits, the voltage pulse of Eq. (9.17) does not interfere with the neighboring bits.

إشارة الحد الأقصى. في نفس الوقت،
$h_{out}(t) = 0$
لـ t = m / B
حيث m هو عدد صحيح.
وبما أن t = m / B
يتوافق مع لحظة اتخاذ القرار من البتات المجاورة، فإن نبضة الجهد في المعادلة (17.9). لا تتداخل مع البتات المجاورة.

The linear-channel transfer function H_T (ω) that will result in output pulse shapes of the form (9.17) is obtained from Eq. (9.15) and is given by

دالة تحويل القناة الخطية H_T (ω) التي ستؤدي إلى أشكال نبضة الخرج ويتم الحصول على المعادلة (17.9) من المعادلة. (15.9) وتعطى من قبل

$$H_T(f) = H_{out}(f)/H_p(f). \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (9.18)$$

For an ideal bit stream in the nonreturn-to-zero (NRZ) format (rectangular input pulses of duration
$T_B = 1/B$),

وفيما يتعلق بتدفق البتات المثالي في نسق دون العودة الى الصفر (NRZ) بشكل نبضات الإدخال المستطيلة للمدة الزمنية
$T_B = 1/B$

$H_p(f) = B \sin(\pi f/B)/\pi f$,
and $H_T(f)$ becomes:

$H_p(f) = B \sin(\pi f/B)/\pi f$,
و تصبح $H_T(f)$ تساوي :

$$H_T(f) = (\pi f/2B)\cot(\pi f/2B). \quad .... \quad (9.19)$$

Equation (9.19) determines the frequency response of the linear channel that would produce output pulse shape given by Eq. (9.17) under ideal conditions. In practice, the input pulse shape is far from being rectangular. The output pulse shape also deviates from Eq. (9.17), and some ISI invariably occurs.

وتحدد المعادلة (9. 19) استجابة التردد للقناة الخطية التي من شأنها أن تنتج شكل نبضة خرج يعطى بواسطة المعادلة. (17.9) في ظل ظروف مثالية. في الممارسة العملية، شكل نبض المدخلات هوبعيدة كل ألبعد من أن تكون مستطيلة الشكل. شكل النبضة الناتجة أيضا تنحرف حسب المعادلة. (17.9)، وبعض التداخل بين الرموز (ISI) يحدث دائما.

9.4.3 Decision Circuit

3.4.9 دائرة القرار

The data-recovery section of optical receivers consists of a decision circuit and a clockrecovery circuit. The purpose of the latter is to isolate a spectral component at $f = B$ from the received signal. This component provides information about the bit slot ($T_B = 1/B$) to the decision circuit and helps to synchronize the decision process.

ويتألف قسم استعادة البيانات من المستقبلات البصرية من دائرة قرار ودائرة الاسترداد على وقت الاصلاح. والغرض من هذا الأخير هو عزل مكون طيفي عند $f = B$ من الإشارة المستقبلة. ويوفر هذا المكون معلومات عن فتحة البتات ($T_B = 1/B$) إلى دائرة القرار ويساعد على مزامنة عملية اتخاذ القرار.

In the case of RZ (return-to-zero) format, a spectral component at $f = B$ is present in the received signal; a narrow-bandpass filter such as a surface-acoustic-wave filter can isolate this component easily.

وفي حالة النسق RZ (العودة إلى الصفر)، يوجد عنصر طيفي عند $f = B$ في الإشارة المستقبلة؛ يمكن لمرشح ضيق النطاق مثل مرشح الموجات الصوتية السطحية عزل هذا المكون بسهولة.

Clockrecovery is more difficult in the case of NRZ format because the signal received lacks a spectral component at $f = B$. A commonly used technique generates such a component by squaring and rectifying the spectral component at $f = B/2$ that can be obtained by passing the received signal through a high-pass filter.

The decision circuit compares the output from the linear channel to a threshold level, at sampling times determined by the clock-recovery circuit, and decides whether the signal corresponds to bit 1 or bit 0.

The best sampling time corresponds to the situation in which the signal level difference between 1 and 0 bits is maximum.

It can be determined from the *eye diagram* formed by superposing 2–3-bit-long electrical sequences in the bit stream on top of each other. The resulting pattern is called an eye diagram because of its appearance.

Figure 9.9 shows an ideal eye diagram together with a degraded one in which the noise and the timing jitter lead to a partial closing of the eye. The best sampling time corresponds to maximum opening of the eye.

ويعد وقت الاصلاح أكثر صعوبة في حالة نسق NRZ لأن الإشارة المستقبلة تفتقر إلى مكون طيفي عند $f = B$. A وتنتج تقنية شائعة الاستخدام مثل هذا المكون عن طريق تربيع وتصحيح المكون الطيفي عند $f = B/2$ التي يمكن الحصول عليها بواسطة تمرير الإشارة المستقبلة من خلال مرشح تمرير عالي.

وتقارن دائرة القرار الناتج من القناة الخطية إلى مستوى العتبة، في أوقات أخذ العينات التي تحددها دائرة وقت الاسترداد، وتقرر ما إذا كانت الإشارة تقابل البتة 1 أو البتة 0.

ويقابل أفضل وقت أخذ العينات الحالة التي يكون فيها اختلاف اقصى مستوى للإشارة بين 1 و 0 بت.

ويمكن تحديدها من مخطط العين التي شكلتها تراكب متواليات الكهربائية الطويلة 3-2 بت في تيار بت على قمة كل منهما الآخر. ويسمى النمط الناتج رسم تخطيطي للعين بسبب مظهره.

ويبين الشكل 9.9 مخطط العين المثالي جنبا إلى جنب مع واحد تقل فيها الضوضاء ويؤدي شدة التوقيت إلى إغلاق جزئي للعين. أفضل وقت أخذ العينات يتوافق مع أقصى فتح للعين.

Because of noise inherent in any receiver, there is always a finite probability that a bit would be identified incorrectly by the decision circuit. Digital receivers are designed to operate in such a way that the error probability is quite small (typically $<10^{-9}$).

وبسبب الضوضاء الكامنة في أي مستقبل، يكون هناك دائما احتمال محدود بأن تكون البت غير صحيحة في دائرة القرار. وقد صممت أجهزة الاستقبال الرقمية للعمل بطريقة تجعل احتمال الخطأ صغيرا جدا (عادة $<10^{-9}$).

Closing of the eye is an indication that the receiver is not performing properly.

إغلاق العين هو مؤشر على أن المتلقي لا يؤدي عمله بشكل صحيح.

9.5 Integrated Receivers

5.9 أجهزة الاستقبال المتكاملة

All receiver components with the exception of the photodiode, are standard electrical components and can be easily integrated on the same chip by using the integrated-circuit (IC) technology developed for microelectronic devices.

وجميع مكونات المستقبل باستثناء الصمام الضوئي، هي مكونات كهربائية قياسية ويمكن دمجها بسهولة على الشريحة نفسها باستخدام تكنولوجيا الدوائر المتكاملة (IC) المتقدمة للأجهزة الدقيقة.

Integration is particularly necessary for receivers operating at high bit rates. By 1988, both Si and GaAs IC technologies have been used to make integrated receivers up to a bandwidth of more than 2 GHz [53]. Since then, the bandwidth has been extended to 10 GHz.

والتكامل ضروري بصفة خاصة للمستقبلات العاملة بمعدلات بتات عالية. وبحلول عام 1988، استخدمت تكنولوجيات Si و GaAs IC لجعل مستقبلات متكاملة تصل إلى عرض نطاق يتجاوز 2 كيگاهيرتز. ومنذ ذلك الحين، تم تمديد عرض النطاق إلى 10 كيگاهيرتز.

Considerable effort has been directed at developing monolithic optical receivers that integrate all components, including the photodetector, on the same chip by using the *optoelectronic*

وقد تم توجيه جهد كبير لتطوير أجهزة الاستقبال البصرية المتجانسة التي تدمج جميع المكونات، بما في ذلك الكواشف البصرية، على نفس الشريحة باستخدام تكنولوجيا الدوائر الضوئية المتكاملة (OEIC).

integrated-circuit (OEIC) technology .

For lightwave systems operating in the wavelength range 1.3–1.6 μm, InP-based OEIC receivers are needed. Since the IC technology for GaAs is much more mature than for InP, a hybrid approach is sometimes used for InGaAs receivers.

وبالنسبة إلى أنظمة الموجات الضوئية العاملة في مدى الطول الموجي 1.3- 1.6 μm، يلزم وجود مستقبلات الدوائر الضوئية المتكاملة (OEIC) المرتكزة على InP. وبما أن تكنولوجيا GaAs هي أكثر تطوراً بكثير من InP، يتم استخدام نهج هجين في بعض الأحيان لمستقبلات InGaAs.

In this approach, called *flip-chip OEIC technology*, the electronic components are integrated on a GaAs chip, whereas the photodiode is made on top of an InP chip.

في هذا المنهاج، رقاقة الدوائر الضوئية المتكاملة (*OEIC*)، والمكونات الإلكترونية المتكاملة على رقاقة GaAs ، في حين يتم صنع الصمام الضوئي على قمة رقاقة InP.

The two chips are then connected by flipping the InP chip on the GaAs chip, as shown in Fig. 9.10. The advantage of the flip-chip technique is that the photodiode and the electrical components of the receiver can be independently optimized while keeping the parasitics (e.g., effective input capacitance) to a bare minimum.

ثم يتم توصيل اثنين من رقائق عن طريق تقليب رقاقة InP على رقاقة GaAs، كما هو مبين في الشكل 10.9. ميزة تقنية قلب الرقاقة هو أن الضوئية والمكونات الكهربائية للمستقبل يمكن أن يكون الأمثل بشكل مستقل مع الحفاظ على الاضافة (على سبيل المثال، سعة الإدخال الفعالة) إلى حد أدنى.

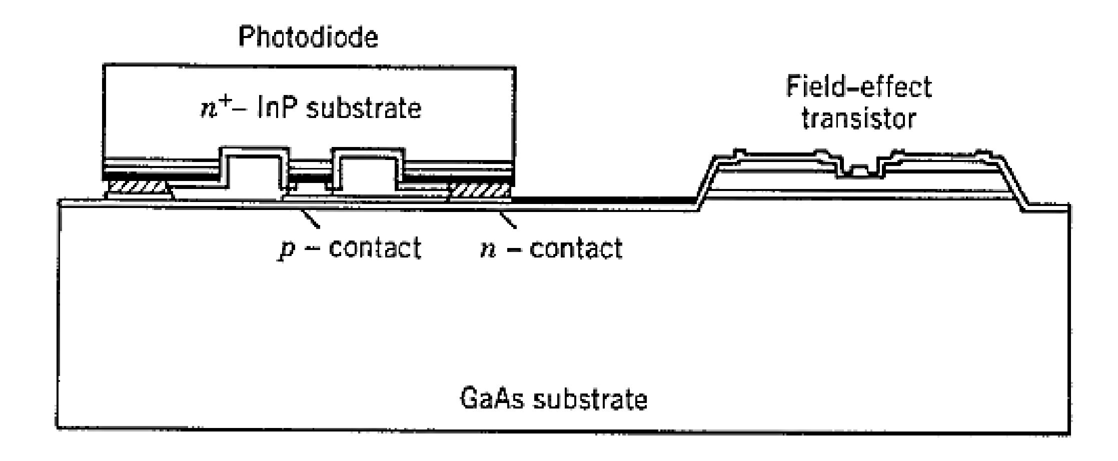


Figure 9.10: Flip-chip OEIC technology for integrated receivers. The InGaAs photodiode is fabricated on an InP substrate and then bonded to the GaAs chip through common electrical contacts.

p–i–n photodiode has also been integrated with HEMTs to develop a two-channel OEIC receiver.

كما تم دمج *p–i–n* الضوئي مع HEMTs لتطوير جهاز استقبال OEIC ثنائي القناة.

In another approach, the heterojunction-bipolar transistor (HBT) technology is used to fabricate the *p–i–n* photodiode within the HBT structure itself through a common-collector configuration. Such transistors are often called *heterojunction phototransistors*.

في نهج آخر، يتم استخدام التكنولوجيا الترانزستور متغاير القطبين (HBT) لتصنيع *p–i–n* الضوئي داخل تركيب HBT نفسها من خلال تكوين جامع مشترك. وغالبا ما تسمى هذه الترانزستورات ترانزستور ضوئي متغاير.

OEIC receivers operating at 5 Gb/s (bandwidth Δf = 3 GHz) were made by 1993. By 1995, OEIC receivers making use of the HBT technology exhibited a bandwidth of up to 16 GHz, together with a high gain.

تشغيل أجهزة الاستقبال OEIC العاملة عند 5 كيكابايت/ ثانية (عرض النطاق Δf = 3 كَيكَاهيرتز) بحلول عام 1993. وبحلول عام 1995، أظهرت أجهزة الاستقبال OEIC التي تستفيد من تكنولوجيا HBT عرض نطاق يصل إلى 16 كَيكَاهرتز، إلى جانب مكاسب عالية.

Such receivers can be used at bit rates of more than 20 Gb/s. Indeed, a high-sensitivity OEIC

ويمكن استعمال هذه المستقبلات بمعدلات بتات تزيد عن 20 كيكابايت / ثانية. وفي الواقع، استخدمت وحدة استقبال مستقبلية

receiver module was used in 1995 at a bit rate of 20 Gb/s in a 1.55-μm lightwave system.

عالية الحساسية في عام 1995 بمعدل بتات قدره 20 كيكابايت / ثانية في نظام ليتوافق قدره 1.55 ميكرون.

Even a decision circuit can be integrated within the OEIC receiver by using the HBT technology .

وحتى دائرة القرار يمكن دمجها داخل مستقبل OEIC باستعمال تكنولوجيا HBT.

Figure 9.11 shows the frequency response together with the epitaxial-layer structure of such an OEIC receiver. This receiver had a bandwidth of 46.5 GHz and exhibited a responsivity of 0.62 A/W in the 1.55-μm wavelength region. It had a clear eye opening at bit rates of up to 50 Gb/s.

ويبين الشكل 11.9 استجابة التردد مع بنية الطبقة الفوقية لمستقبل OEIC. وكان لهذا المستقبل عرض نطاق قدره 46.5 كَيكَاهيرتز وعرض استجابة قدرها 0.62 امبير/ واط في منطقة الطول الموجي 1.55ميكرون. كان فتح العين واضحة في معدلات بت تصل إلى 50 كَيكَابايت / ثانية.

The optical-feedback issue is also important since unintentional reflections fed back into the transmission fiber can affect system performance and should be minimized.

وتكتسي مسألة التغذية المرتدة البصرية أهمية أيضا لأن الانعكاسات غير المتعمدة التي تغذيها ألياف الإرسال يمكن أن تؤثر على أداء النظام وينبغي التقليل منها.

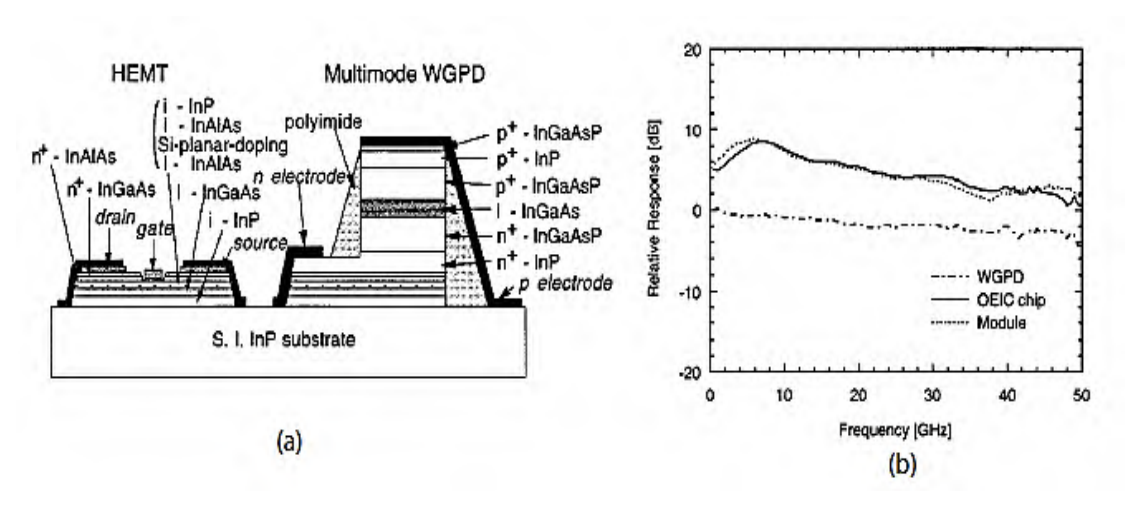


Figure 9.11: (a) Epitaxial-layer structure and (b) frequency response of an OEIC receiver module made using a waveguide photodetector (WGPD).

Chapter 10

Optical Detection

10 Optical Detection

10 الكاشف البصري

10.1 Introduction

1.10 المقدمة

The basic detection process in an intrinsic absorber is illustrated in Figure10.1 which shows a *p–n* photodiode.

عملية الكاشف الأساسية في الامتصاص الداخلي وهو موضح في الشكل 1.10 الذي يظهر الصمام الضوئي *p–n*.

This device is reverse biased and the electric field delve loped across the *p–n* junction sweeps mobile carriers (holes and electrons) to their respective majority sides (*p*- and *n*-type material).

هذا الجهاز منحازة عكسيا، ويخوض المجال الكهربائي المتقدمة عبر مفترق p- n امتداد الموجة الحاملة المتنقلة (الإلكترونات والفجوات) إلى الجانبين الأغلبية الخاصة بهم (نوع المواد p و n).

A depletion region or layer is therefore created on either side of the junction.

لذلك يتم إنشاء منطقة أو طبقة استنزاف على جانبي الملتقى (نقطة الاتصال).

This barrier has the effect of stopping the majority carriers crossing the junction in the opposite direction to the field.

هذا الحاجز له تأثير ايقاف أغلبية ناقلات العبورالى الملتقى في الاتجاه المعاكس للمجال.

However, the field accelerates minority carriers from both sides to the opposite side of the junction, forming the reverse

ومع ذلك، فإن المجال يسرع ناقلات الأقليات من كلا الجانبين إلى الجانب الآخر من الملتقى، وتشكيل التيار التسرب العكسي من الصمام الثنائي.

leakage current of the diode.

Thus intrinsic conditions are created in the depletion region.

وهكذا تنشأ الظروف الجوهرية في منطقة الاستنزاف.

A photon incident in or near the depletion region of this device which has an energy greater than or equal to the bandgap energy *E*g of the fabricating material (i.e. $hf \geq Eg$) will excite an electron from the valence band into the conduction band.

سقوط فوتون في أو بالقرب من منطقة الاستنزاف من هذا الجهاز الذي يحتوي على طاقة أكبر من أو يساوي طاقة النطاق *E*g، فإن المادة المصنعة ($hf \geq Eg$) سوف تثير إلكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل.

This process leaves an empty hole in the valence band and is known as the photogeneration of an electron–hole (carrier) pair, as shown in Figure 10.1(a).

وتترك هذه العملية فجوة فارغا في نطاق التكافؤ، وتعرف بتوليد زوج حاملة إلكترون فجوة، كما هو مبين في الشكل 10-1(a).

Carrier pairs so generated near the junction are separated and swept (drift) under the influence of the electric field to produce a displacement by current in the external circuit in excess of any reverse leakage current (Figure 10.1(b)).

يتم فصل أزواج الحامل التي يتم إنشاؤها بالقرب من الملتقى ويرتد (الانجراف) تحت تأثير المجال الكهربائي لإنتاج الازاحة عن طريق التيار في الدائرة الخارجية الزائدة عن أي تيار تسرب عكسي (الشكل 1.10 (b)).

Photogeneration and the separation of a carrier pair in the depletion region of this reverse-biased *p–n* junction is illustrated in Figure 10.1 (c).

ويوضح الشكل 1.10 (c) التوليد الضوئي وفصل زوج الموجة الحاملة في منطقة استنزاف p-n هذا عكس ملتقى الانحياز.

The depletion region must be sufficiently thick to allow a large fraction of the incident light to be absorbed in order to achieve maximum carrier pair generation.

ويجب أن تكون منطقة الاستنزاف سميكة بما فيه الكفاية للسماح باستيعاب جزء كبير من الضوء الساقط من أجل تحقيق أقصى توليد للزوج الناقل.

However, since long carrier drift times in the depletion region restrict the speed of operation of the photodiode it is necessary to limit its width.

ومع ذلك، فأن طول زمن انجراف الناقل في منطقة الاستنزاف تُقييد سرعة تشغيل الصمام الضوئي فمن الضروري للحد من عرضه.

Thus there is a trade-off between the number of photons absorbed (sensitivity) and the speed of response.

وبالتالي هناك مفاضلة بين عدد من امتصاص الفوتونات (حساسية) وسرعة الاستجابة.

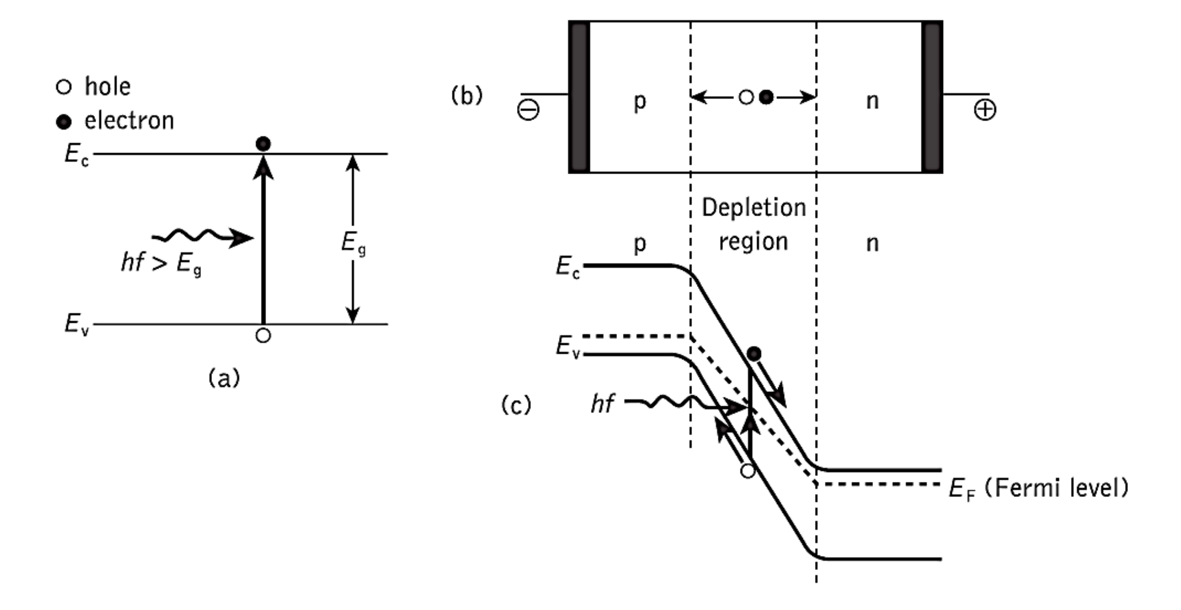


Figure 10.1 Operation of the *p–n* photodiode: (a) photogeneration of an electron–hole pair in an intrinsic semiconductor; (b) the structure of the reverse-biased *p–n* junction illustrating carrier drift in the depletion region; (c) the energy band diagram of the reverse-biased *p–n* junction showing photogeneration and the subsequent separation of an electron–hole pair

10.2 Absorption Coefficient

2.10 معامل الامتصاص

The absorption of photons in a photodiode to produce carrier pairs and thus a photocurrent is dependent on the absorption coefficient α_0 of the light in the semiconductor used to fabricate

امتصاص الفوتونات في الصمام الثنائي الضوئي لإنتاج أزواج الناقل وبالتالي التيار الضوئي يعتمد على معامل امتصاص α_0 من الضوء في أشباه الموصلات المستخدمة في تصنيع الجهاز.

the device.

At a specific wavelength and assuming only bandgap transitions (i.e. intrinsic absorber) the photocurrent I_p produced by incident light of optical power P_o:

في طول موجي محدد، وعلى افتراض فقط التحولات في فجوة النطاق (أي امتصاص جوهري) يتم إعطاء I_p التيار الضوئي التي ينتجها الضوء الساقط من الطاقة الضوئية P_o:

$$I_p = \frac{P_o e\,(1-r)}{hf}\,[1 - \exp(-\alpha_0 d)] \quad \text{.......... (10.1)}$$

where e is the charge on an electron, r is the Fresnel reflection coefficient at the semiconductor–air interface and d is the width of the absorption region.

حيث e هو شحنة الإلكترون، r هو معامل انعكاس فرينل في واجهة الهواء وأشباه الموصلات و d هو عرض منطقة الامتصاص.

The absorption coefficients of semiconductor materials are strongly dependent on wavelength.

وتعتمد معاملات امتصاص مواد أشباه الموصلات اعتمادا شديدا على طول الموجة.

This is illustrated for some common semiconductors in Figure 10.2.

ويتضح ذلك بالنسبة لبعض أشباه الموصلات المشتركة كما يتضح في الشكل 2.10.

It may be observed that there is a variation between the absorption curves for the materials shown and that they are each suitable for different wavelength applications.

ويمكن ملاحظة أن هناك تباين بين منحنيات الامتصاص للمواد المعروضة وأن كل منها مناسب لتطبيقات الطول الموجي المختلفة.

This results from their differing bandgaps energies, as shown in Table 10.1. However, it must be noted that the curves depicted in Figure 10.2 also vary with temperature.

ويعود ذلك إلى اختلاف طاقات النطاق الترددي، كما هو مبين في الجدول 10-1. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن المنحنيات المبينة في الشكل 2.10 تختلف أيضا مع درجة الحرارة.

Table 10.1 Bandgaps for some semiconductor photodiode materials at 300 K
Bandgap (eV) at 300 K

	Indirect	*Direct*
Si	1.14	4.10
Ge	0.67	0.81
GaAs	–	1.43
InAs	–	0.35
InP	–	1.35
GaSb	–	0.73
In0.53Ga0.47As	–	0.75
In0.14Ga0.86As	–	1.15
GaAs0.88Sb0.12	–	1.15

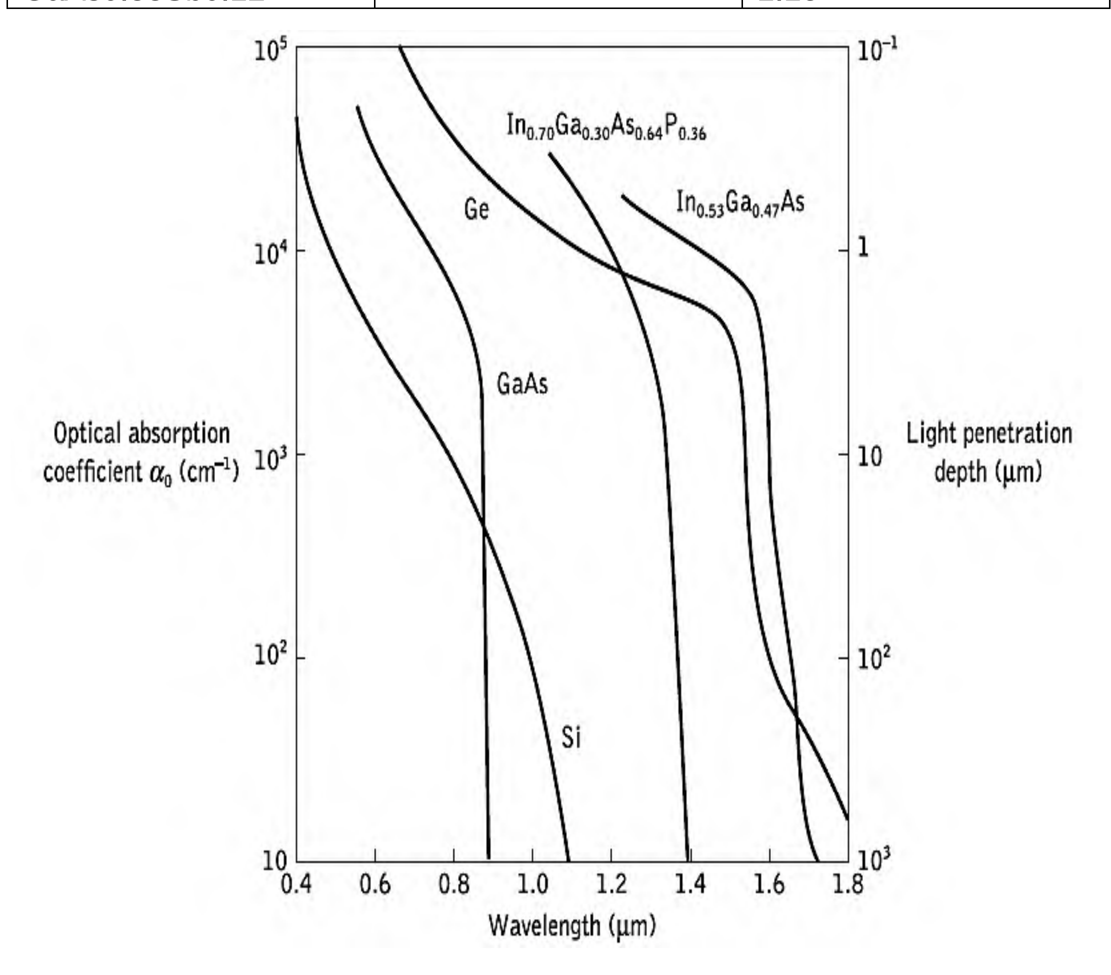


Figure 10.2 Optical absorption curves for some common semiconductor photodiode materials (silicon, germanium, gallium arsenide, indium gallium arsenide and indium gallium arsenide phosphide).

10.3 Quantum Efficiency

3.10 الكفاءة الكمية

The quantum efficiency η is defined as the fraction of incident photons which are absorbed by the photodetector and generate electrons which are collected at the detector terminals:

وتعرف الكفاءة الكمومية (η) بأنها جزء الفوتونات الساقطة التي يمتصها الكاشف الضوئي وتولد الإلكترونات التي يتم جمعها في محطات الكشف:

$$\eta = \frac{\text{number of electrons collected}}{\text{number of incident photons}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.2)$$

Hence:

$$\eta = \frac{r_e}{r_p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.3)$$

Where rp is the incident photon rate (photons per second) and r_e is the corresponding electron rate (electrons per second).

حيث r_p هو معدل الفوتون الساقط (الفوتونات في الثانية) وr_e هو معدل الإلكترون المقابلة (الإلكترونات في الثانية).

One of the major factors which determine the quantum efficiency is the absorption coefficient of the semiconductor material used within the photodetector.

وأحد العوامل الرئيسية التي تحدد كفاءة الكم هو معامل الامتصاص من مادة أشباه الموصلات المستخدمة في الكاشف الضوئي.

The quantum efficiency is generally less than unity as not all of the incident photons are absorbed to create electron–hole pairs. Furthermore, it should be noted that it is often quoted as a percentage (e.g. a quantum efficiency of 75% is equivalent to 75 electrons collected per 100 incident photons).

وكفاءة الكم عموما أقل من الوحدة كما لا يمتص كل من الفوتونات الساقطة لخلق أزواج إلكترون فجوة. وعلاوة على ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه كثيرا ما يتم اقتباسه كنسبة مئوية (على سبيل المثال، كفاءة الكم 75٪ تعادل 75 الإلكترونات التي تم جمعها لكل 100 من الفوتونات الساقطة).

Finally, in common with the absorption coefficient, the

وأخيرا، وبصفة مشتركة مع معامل الامتصاص، فإن كفاءة الكم هي دالة لطول

quantum efficiency is a function of the photon wavelength and must therefore only be quoted for a specific wavelength.

الموجة الفوتونية، ومن ثم يجب أن يقتبس فقط لطول موجي محدد.

10.4 Responsivity

4.10 الاستجابة

The expression for quantum efficiency does not involve photon energy and therefore the responsivity R is often of more use when characterizing the performance of a photodetector.
It is defined as:

التعبير عن كفاءة الكم لا ينطوي على طاقة الفوتون، وبالتالي فإن الاستجابة (R) غالبا ما تكون أكثر استخداما عند وصف أداء الكاشف الضوئي.

وهي تُعرف على النحو التالي:

$$R = \frac{I_p}{I_a} \; (\mathrm{A\,W^{-1}}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.4)$$

Where I_p is the output photocurrent in amperes and P_o is the incident optical power in watts (i.e. output optical power from the fiber).

حيث I_p هو التيار الضوئي الناتج بالأمبير، P_o هو الطاقة البصرية الساقطة بالواط (أي انتاج الطاقة البصرية في الألياف).

The responsivity is a useful parameter as it gives the transfer characteristic of the detector (i.e. photocurrent per unit incident optical power).

و الاستجابية هو متغير (معلمة) مفيدة لأنها تعطي ميزة نقل للكاشف (أي التيار الضوئي لكل وحدة طاقة ضوئية ساقطة).

The relationship for responsivity (Eq. (10.4)) may be developed to include quantum efficiency as follows. the energy of a photon $E = hf$.

ويمكن تطوير علاقة الاستجابة (المعادلة (10. 4)) لتشمل الكفاءة الكمومية على النحو التالي. حيث طاقة الفوتون $E = hf$.

Thus the incident photon rate r_p may be written in terms of incident optical power and the photon energy as:

وبالتالي فإن معدل الفوتون الساقط r_p قد تكون مكتوبة من حيث الطاقة الضوئية الساقطة وطاقة الفوتون على النحو التالي:

$$r_p = \frac{P_o}{hf} \quad \text{..........} \quad (10.5)$$

In Eq. (10.3) the electron rate is given by:

$$r_e = \eta r_p \quad \text{..........} \quad (10.6)$$

Substituting from Eq. (10.5) we obtain:

$$r_e = \frac{\eta P_o}{hf} \quad \text{..........} \quad (10.7)$$

Therefore, the output photocurrent is:

$$I_p = \frac{\eta P_o e}{hf} \quad \text{..........} \quad (10.8)$$

Where e is the charge on an electron. Thus from Eq. (10.4) the responsivity may be written as:

حيث e هو شحنة الإلكترون. وبالتالي من معادلة (4.10) يمكن كتابة الاستجابة على النحو التالي:

$$R = \frac{\eta e}{hf} \quad \text{..........} \quad (10.9)$$

Equation (10.9) is a useful relationship for responsivity which may be developed a stage further to include the wavelength of the incident light.

المعادلة (9.10) هي علاقة مفيدة للاستجابة التي يمكن تطويرها لمرحلة أخرى لتشمل الطول الموجي للضوء الساقط.

The frequency f of the incident photons is related to their wavelength λ and the velocity of light in air c, by:

ويرتبط التردد f من الفوتونات الساقطة لطولها الموجي λ وسرعة الضوء في الهواء c ، من خلال:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{..........} \quad (10.10)$$

Substituting into Eq. (10.9) a final expression for the responsivity is given by:

استبدال في معادلة (9.10) يعبر عن التعبير النهائي للاستجابية عن طريق:

$$R = \frac{\eta e\lambda}{hc} \quad \text{..........} \quad (10.11)$$

It may be noted that the responsivity is directly proportional to the quantum efficiency at a particular wavelength.

وتجدر الإشارة إلى أن الاستجابة تتناسب طرديا مع كفاءة الكم في طول موجة معين.

The ideal responsivity against wavelength characteristic for a silicon photodiode with unit quantum efficiency is illustrated in Figure 10.3(a).

ويوضح الشكل 3.10 (a) الاستجابة المثالية ضد خاصية الطول الموجي للكاشف الضوئي السيليكون بكفاءة وحدة الكم.

Also shown is the typical responsivity of a practical silicon device. Figure 10.3(b), however, compares the responsivities and quantum efficiencies of the photodiodes based on silicon, germanium and the InGaAs ternary alloy.

كما يظهر استجابة نموذجية لجهاز السيليكون العملي. ومع ذلك، يقارن الشكل 3.10 (b) المساميات والكفاءة الكمية للكاشف الضوئي على أساس السيليكون والجرمانيوم وسبائك InGaAs الثلاثية.

It shows the lower values of responsivity of 0.45 and 0.65 A W^{-1} at signal wavelengths of 0.90 µm and 1.30 µm, respectively, for silicon and germanium photodiodes.

فإنه يظهر القيم أقل من استجابة 0.45 و 0.65 A W^{-1} في أطوال موجية إشارة من 0.90 ميكرون و 1.30 ميكرون، على التوالي، للكاشف الضوئي السيليكون والجرمانيوم.

High responsivity values of 0.9 and 1.0 A W−1 at signal wavelengths of 1.30 µm

قيم استجابة عالية من 0.9 و 1.0 A W^{-1} في موجات إشارة من 1.30 ميكرون

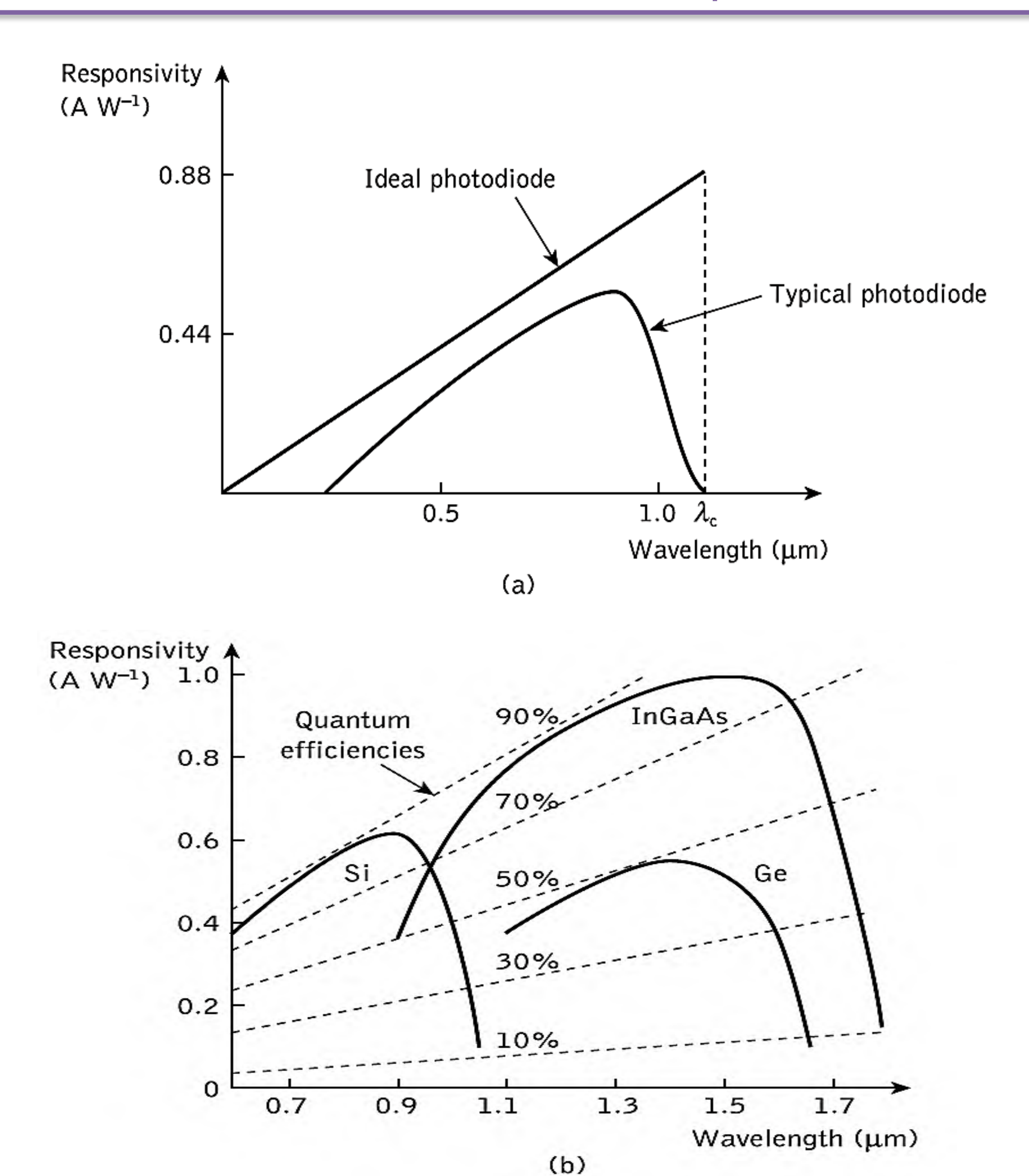


Figure 10.3 Responsivity against wavelength characteristics: (a) an ideal silicon photodiode with a typical device also shown; (b) silicon, germanium and InGaAs photodiodes with quantum efficiencies also shown. After Ref. 5. G. Keiser, *Optical Communications Essentials (Telecommunications)*, © 2003 with permission from The McGraw Hill Companies.

and 1.55 μm, respectively, for the photodiode fabricated from InGaAs alloy can also be observed.

و 1.55 ميكرون، على التوالي، للصمام الثنائي الضوئي المصنع من سبيكة .InGaAs

Moreover nearly 90% quantum efficiencies can be obtained for both the InGaAs and silicon photodiodes.

وعلاوة على ذلك يمكن الحصول على ما يقرب من 90٪ الكفاءة الكمية لكلا من الكاشف الضوئي InGaAs و الصمام الثنائي الضوئي للسيليكون.

It should also be noted that the responsivity drops rapidly at the cutoff wavelength for each of the photodiode materials.

وتجدر الإشارة أيضا إلى أن الاستجابة تقل بسرعة في طول موجي القطع لكل من المواد الضوئي.

This factor is in accordance with Eq. (10.11) which provides the quantum efficiency as a function of signal wavelength which is critically dependent on the photodiode material bandgap energy.

هذا العامل وفقا للمعادلة (11.10) الذي يوفر كفاءة الكم كدالة لأطول الموجي الإشعاعي الذي يعتمد بشكل حاسم على طاقة فجوة الحزمة لمواد الصمام الضوئي.

For a particular material, as the wavelength of the incident photon becomes longer the photon energy.

حيث أن لبعض المواد يصبح الطول الموجي للفوتون الساقط اطول من طاقة الفوتون.

Eventually is less than the energy required to excite an electron from the valance band to the conduction band and at this point the responsivity falls to zero.

في النهاية تكون الطاقة المطلوبة اقل لإثارة الإلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل وعند هذه النقطة تسقط الاستجابية إلى الصفر.

Example 10.1: When 3 × 1011 photons each with a wavelength of 0.85 μm are incident on a photodiode, on average 1.2 × 1011 electrons are collected at the terminals of the device. Determine the quantum efficiency and the responsivity of the photodiode at 0.85 μm.

Solution: From Eq. (10.2):

$$\text{Quantum efficiency} = \frac{\text{number of electrons collected}}{\text{number of incident photons}}$$

$$= \frac{1.2\ X\ 10^{11}}{3X\ 10^{11}}$$

$$= 0.4$$

The quantum efficiency of the photodiode at 0.85 μm is 40%. From Eq. (10.11):

$$\text{Responsivity} \quad R = = \frac{\eta e \lambda}{hc}$$

$$= \frac{0.4\ X\ 1.602\ X\ \ X10^{-19} X0.85\ X\ 10^{-6}}{6.626\ X\ 10^{-34}\ X\ 2.998\ X\ 10^{8}}$$

$$= 0.274\ \text{A W}^{-1}$$

The responsivity of the photodiode at 0.85 μm is 0.27 A W^{-1}.

Example 10.2: A photodiode has a quantum efficiency of 65% when photons of energy 1.5 × 10−19 J are incident upon it.

(a) At what wavelength is the photodiode operating?

(b) Calculate the incident optical power required to obtain a photocurrent of 2.5 μA when the photodiode is operating as described above.

Solution: (a) From Eq. (10.1), the photon energy $E = hf = hc/\lambda$. Therefore:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.626\ X\ \ X10^{-34} X2.998\ X\ 10^{8}}{1.5\ X\ 10^{-19}}$$

$$= 1.32\ \ \mu\text{m}$$

The photodiode is operating at a wavelength of 1.32 μm.

(b) From Eq. (10.9):

$$\text{Responsivity } R = \frac{\eta e}{hf} = \frac{0.65\ X\ \ X1.602\ X\ 10^{-19}}{1.5\ X\ 10^{-19}}$$

$$= 0.694\ \text{A W}^{-1}$$

Also from Eq. (10.4):

$$R = \frac{I_p}{P_o}$$

Therefore:

$$Po = \frac{25\ X\ 10^{-6}}{0.694} = 3.60\ \mu\text{W}$$

The incident optical power required is 3.60 μW.

10.5 Long Wavelength Cutoff

5.10 قطع الطول الموجي الطويل

It is essential when considering the intrinsic absorption process that the energy of incident photons be greater than or equal to the bandgap energy *E*g of the material used to fabricate the photodetector. Therefore, the photon energy:

فمن الضروري عند النظر في عملية الامتصاص الجوهرية أن طاقة الفوتونات الساقطة تكون أكبر من أو يساوي طاقة فجوة الحزمة على سبيل المثال من المواد المستخدمة في تصنيع الكاشف الضوئي. ولذلك، فإن طاقة الفوتون:

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g \quad \text{..........} \quad (10.12)$$

giving:

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_g} \quad \text{..........} \quad (10.13)$$

Thus the threshold for detection, commonly known as the long wavelength cutoff point λc, is:

وبالتالي فإن عتبة الكشف، والمعروف باسم نقطة قطع الطول الموجي الطويل λc، هو

$$\lambda_c = \leq \frac{hc}{E_g} \quad \text{..........} \quad (10.14)$$

The expression given in Eq. (10.14) allows the calculation of the longest wavelength of light to give photodetection for the various semiconductor materials used in the fabrication of detectors.

التعبير الوارد في المعادلة. (14.10) يسمح بحساب أطول طول موجي للضوء لإعطاء الكاشف الضوئي لمختلف مواد أشباه الموصلات المستخدمة في تصنيع أجهزة الكشف.

It is important to note that the above criterion is only applicable to intrinsic photodetectors.

من المهم أن نلاحظ أن المعيار أعلاه ينطبق فقط على أجهزة الكاشف الضوئي.

Extrinsic photodetectors violate the expression given in Eq. (8.12), but are not currently used in optical fiber communications.

الكاشف الضوئي الخارجية تعطي التعبير الوارد في المعادلة (8.12)، ولكن لا تستخدم حاليا في اتصالات الألياف البصرية.

10.6 Semiconductor Photodiodes Without Internal Gain

6.10 الصمام الثنائي الضوئي لأشباه الموصلات دون مكسب داخلي

Semiconductor photodiodes without internal gain generate a single electron–hole pair per absorbed photon.

الصمام الثنائي الضوئي لأشباه الموصلات هي من دون توليد مكسب داخلي من زوج واحد الكترون فجوة من الفوتون الممتص.

10.6.1 The *p–n* Photodiode

1.6.10 الصمام الثنائي *p–n*

Figure 10.4 shows a reverse-biased *p–n* photodiode with both the depletion and diffusion regions.

ويبين الشكل 4.10 الصمام الثنائي الضوئي p-n منحازة عكسيا مع كل من مناطق الاستنزاف والانتشار.

The depletion region is formed by immobile positively charged donor atoms in the *n*-type semiconductor material and immobile negatively charged acceptor atoms in the *p*-type material, when the mobile carriers are swept to their majority sides under the influence of the electric field.

وتتكون منطقة الاستنزاف من ذرات مانحة غير مشحونة ذات شحنة موجبة في مادة أشباه الموصلات من النوع n وذرات مستقبلة متحركة سالبة في المادة من النوع p، عندما تجتاح الموجات الحاملة المتنقلة إلى معظمها تحت تأثير المجال الكهربائي.

The width of the depletion region is therefore dependent upon the

وبالتالي فإن عرض منطقة الاستنزاف يعتمد على تركيزات الشوائب للانحياز العكسي

doping concentrations for a given applied reverse bias (i.e. the lower the doping, the wider the depletion region). For the interested reader.

للقاعدة (أي انخفاض التشويب، على نطاق أوسع في منطقة الاستنزاف).

Photons may be absorbed in both the depletion and diffusion regions, as indicated by the absorption region in Figure 10.4.

ويمكن امتصاص الفوتونات في كل من مناطق الاستنزاف والانتشار، كما تشير منطقة الامتصاص في الشكل 4.10.

The absorption region's position and width depend upon the energy of the incident photons and on the material from which the photodiode is fabricated.

موقع منطقة الامتصاص ويعتمد العرض على الطاقة من الفوتونات الساقطة وعلى المواد التي يتم تصنيعها الصمام الثنائي الضوئي.

Thus in the case of the weak absorption of photons, the absorption region may extend completely throughout the device.

وهكذا في حالة ضعف امتصاص الفوتونات، قد تمتد منطقة الامتصاص تماما في جميع أنحاء الجهاز.

Electron–hole pairs are therefore generated in both the depletion and diffusion regions.

وبالتالي تنشأ أزواج إلكترون – فجوة في كل من مناطق الاستنزاف والانتشار.

In the depletion region the carrier pairs separate and drift under the influence of the electric field, whereas outside this region the hole diffuses towards the depletion region in order to be collected.

وفي منطقة الاستنزاف، ينفصل الناقلان ويتحركان تحت تأثير المجال الكهربائي، في حين خارج هذه المنطقة الثقوب تتحرك نحو منطقة الاستنزاف من أجل الترابط.

The diffusion process is very slow compared with drift and thus limits the response of the photodiode.

عملية الانتشار بطيئة جدا مقارنة مع التدفق، وبالتالي يحد من استجابة الصمام الثنائي الضوئي.

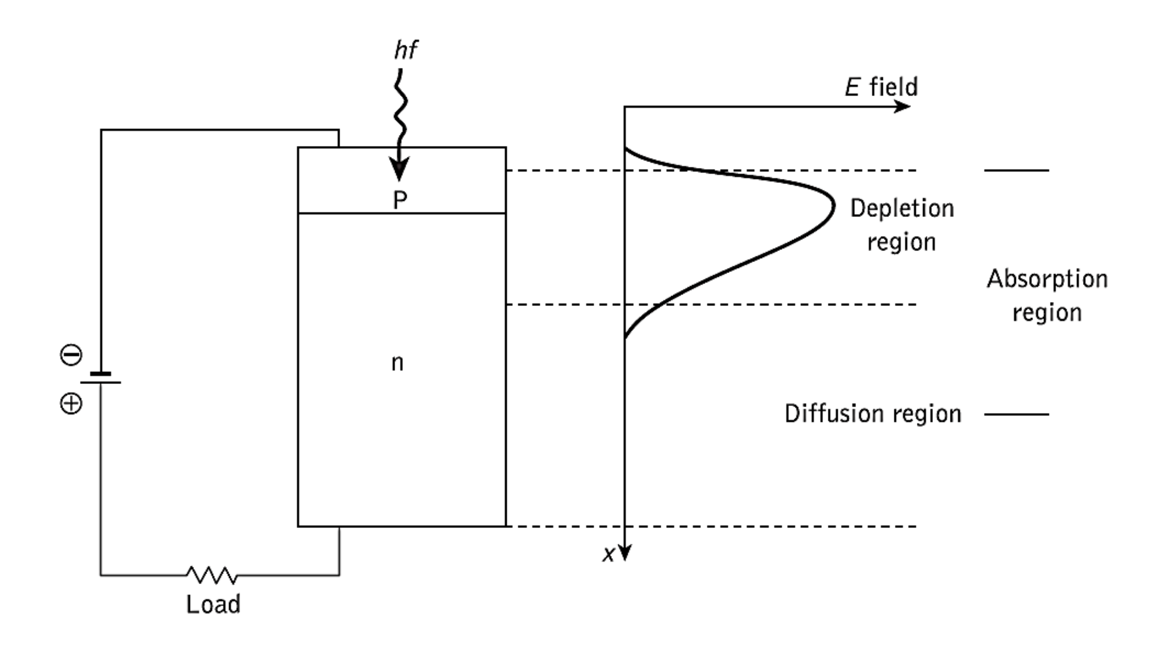


Figure 10.4 The *p–n* photodiode showing depletion and diffusion regions

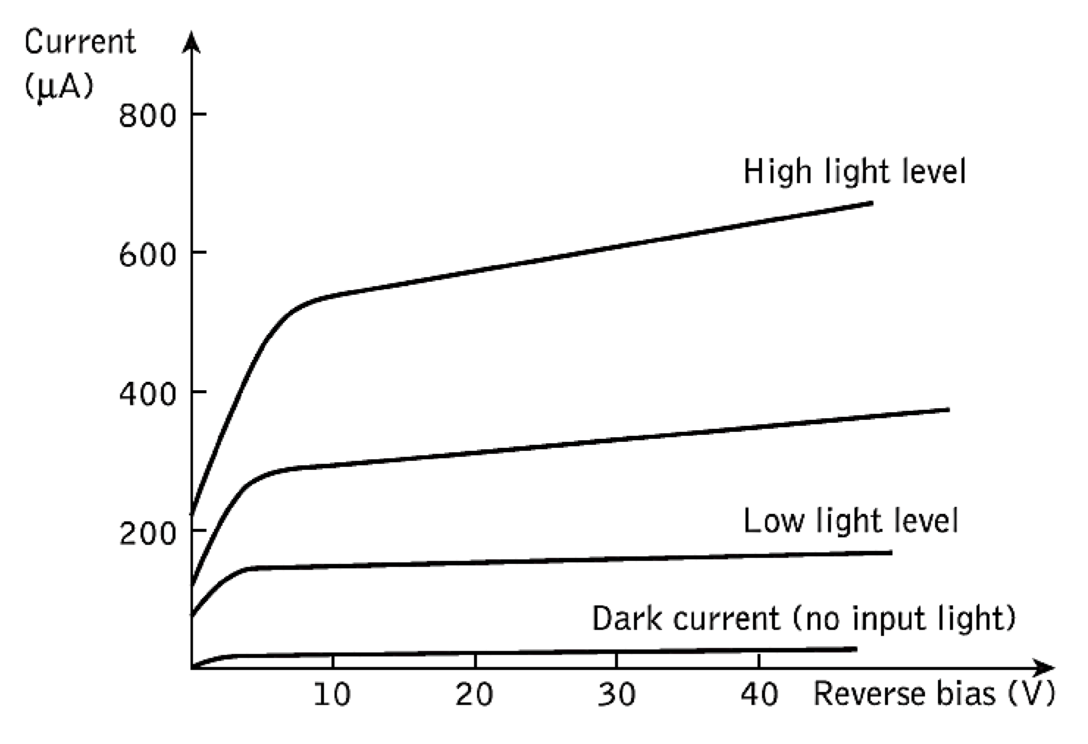


Figure 10.5 Typical *p–n* photodiode output characteristics

It is therefore important that the photons are absorbed in the depletion region.

ولذلك فمن المهم أن يتم امتصاص الفوتونات في منطقة الاستنزاف.

Thus it is made as long as possible by decreasing the doping in the *n*-type material.

وبالتالي فإنه يتم إجراء أطول فترة ممكنة عن طريق خفض الشوائب في المواد من نوع المواد *n*.

The depletion region width in a *p*–*n* photodiode is normally 1 to 3 nm and is optimized for the efficient detection of light at a given wavelength.

عرض منطقة الاستنزاف في الصمام الثنائي الضوئي p-n هو عادة 1 إلى 3 نانومتر والأمثل للكشف عن كفاءة الضوء في طول موجي معين.

For silicon devices this is in the visible spectrum (0.4 to 0.7 nm) and for germanium in the near infrared (0.7 to 0.9 nm).

لأجهزة السيليكون يكون الطيف المرئية هو(0.4 إلى 0.7 نانومتر) وللجرمانيوم في الأشعة تحت الحمراء القريبة هو (0.7 إلى 0.9 نانومتر).

Typical output characteristics for the reverse-biased *p*–*n* photodiode are illustrated in Figure 10.5.

ويوضح الشكل 5.10 خصائص النواتج النمطية للصمام الثنائي الضوئي المنحازة p- n عكسياً.

The different operating conditions may be noted moving from no light input to a high light level.

ويمكن ملاحظة ظروف التشغيل المختلفة من الانتقال من أي ضوء المدخلات إلى مستوى الضوء العالي.

10.6.2 The *p*–*i*–*n* Photodiode

2.6.10 الصمام الثنائي الضوئي p-i-n

In order to allow operation at longer wavelengths where the light penetrates more deeply into the semiconductor material, a wider depletion region is necessary. To achieve this the

من أجل السماح للتشغيل في أطوال موجية أطول حيث يخترق الضوء بعمق أكثر في مادة أشباه الموصلات، منطقة الاستنزاف تكون أوسع أمر ضروري. لتحقيق ذلك

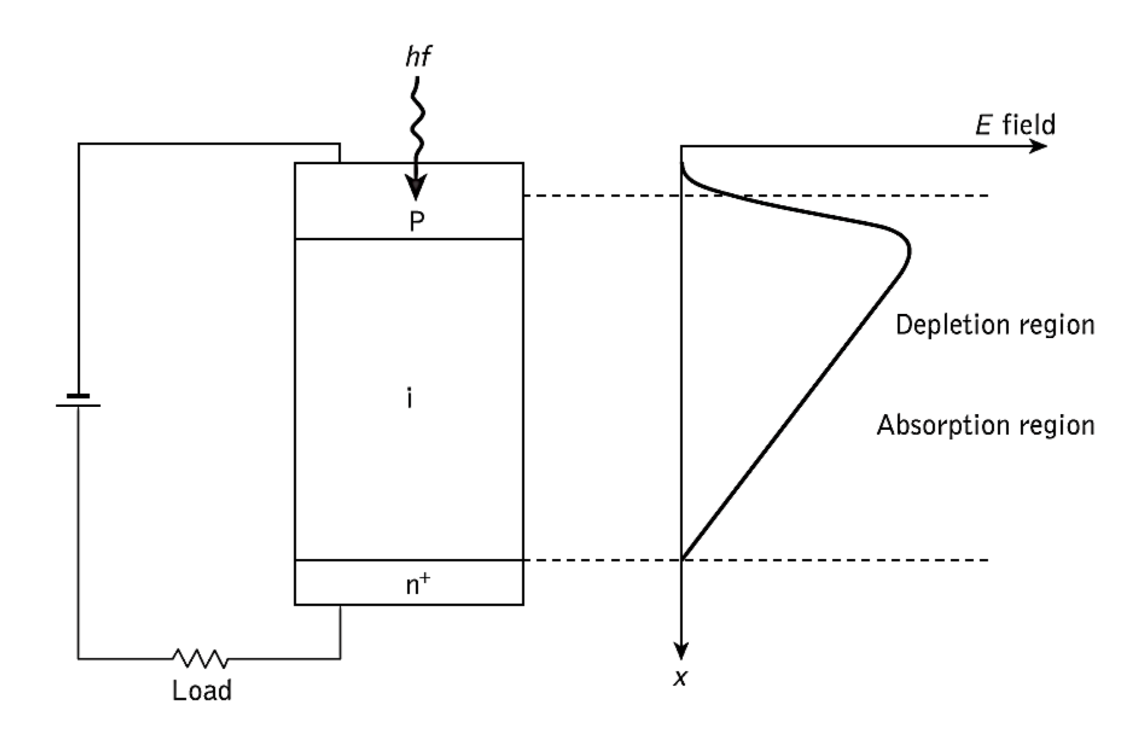


Figure 10.6 The *p–i–n* photodiode showing the combined absorption and depletion Region *n*-type material is doped so lightly that it can be considered intrinsic, and to make a low resistance contact a highly doped *n*-type (n+) layer is added.

This creates a *p–i–n* (or PIN) structure, as may be seen in Figure 10.5 where all the absorption takes place in the depletion region.

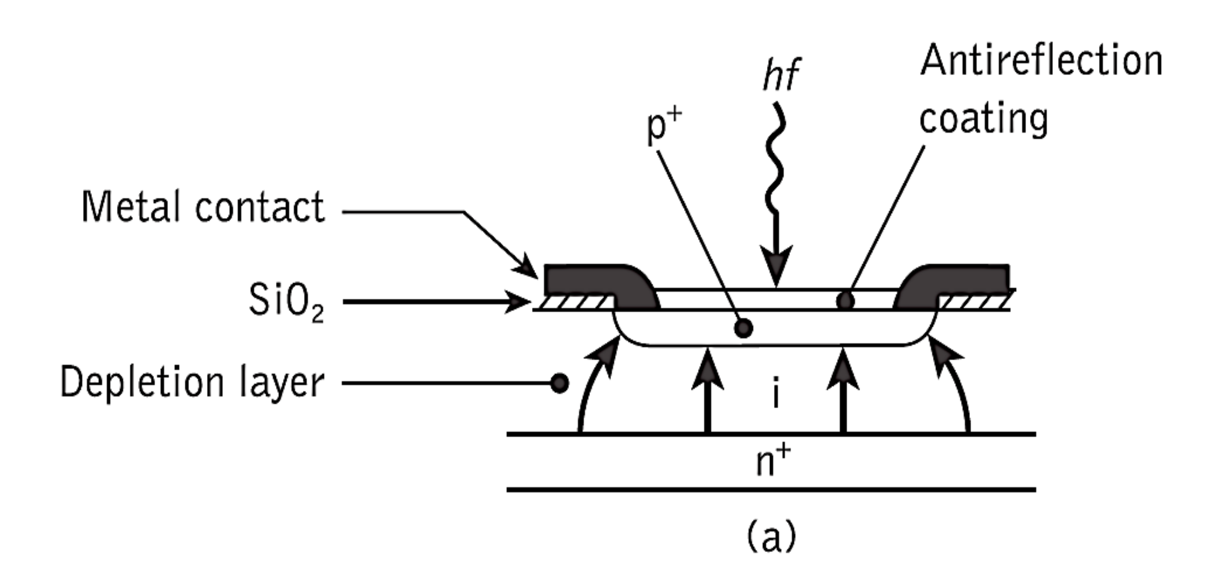
وهذا يخلق تركيب p-i-n (أو PIN)، كما يتضح من الشكل 5.10 حيث يحدث كل الامتصاص في منطقة الاستنزاف.

Figure 10.6 shows the structures of two types of silicon *p–i–n* photodiode for operation in the shorter wavelength band below 1.09 nm.

ويبين الشكل 6.10 تركيب نوعين من الصمام الثنائي الضوئي للسيليكون من نوع p-i-n للتشغيل في نطاق الاطوال الموجة الأقصر دون 1.09 نانوميتر.

The front-illuminated photodiode, when Figure 10.7 The *p–i–n* photodiode showing the combined absorption and depletion Region

يبين الشكل 7.10 الصمام الثنائي الضوئي p-i-n يظهر امتصاص مجتمعة واستنزاف المنطقة



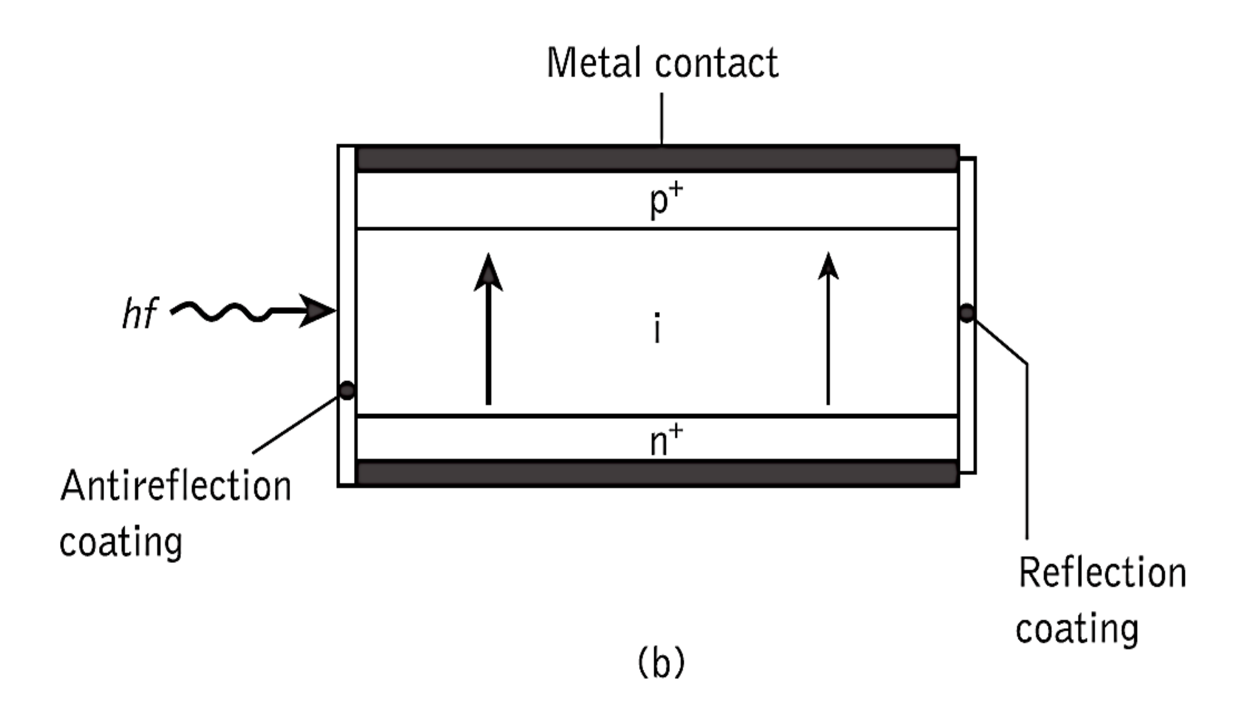


Figure 10.7 (a) Structure of a front-illuminated silicon *p–i–n* photodiode. (b) Structure of a side-illuminated (parallel to junction) *p–i–n* photodiode operating in the 0.8 to 0.9 nm band

operating in the 0.8 to 0.9 μm band (Figure 10.7(a)), requires a depletion region of between 20 and 50 nm in order to attain high quantum efficiency (typically 85%) together with fast response (less than 1 ns) and low dark current (1 nA).

تعمل في نطاق 0.8 إلى 0.9 ميكرون (الشكل 7.10 (a))، يتطلب منطقة استنزاف تتراوح بين 20 و 50 نانومتر من أجل تحقيق كفاءة كمية عالية (عادة 85٪) مع الاستجابة السريعة (أقل من 1 نانومترثانية) وانخفاض التيار المظلم او ما يسمى التيار الكثيف (1 نانوأمبير).

Dark current arises from surface leakage currents as well as generation–recombination currents in the depletion region in the absence of illumination.

وينشأ التيار المظلم من تيارات التسرب السطحية وكذلك تيارات إعادة التركيب في منطقة الاستنزاف في حالة عدم وجود إضاءة.

The side-illuminated structure (Figure 10.7(b)), where light is injected parallel to the junction plane, exhibits a large absorption width (500 nm) and hence is particularly sensitive at wavelengths close to the bandgap limit (1.09 nm) where the absorption coefficient is relatively small.

ويظهر الهيكل الجانبي المضاء (الشكل 7.10 (b))، حيث يتم حقن الضوء موازيا لمستوى التقاطع، بعرض امتصاص كبير (500 نانومتر)، ومن ثم يكون حساسا بشكل خاص عند أطوال موجية قريبة من حدود فجوة الحزمة (1.09 نانومتر) حيث معامل الامتصاص هو صغير نسبيا.

Germanium *p–i–n* photodiodes which span the entire wavelength range of interest are also commercially available, but as mentioned previously the relatively high dark currents are a problem (typically 100 nA at 20 °C increasing to 1 nA at 40 °C).

االصمام الثنائي الضوئي للجرمانيوم P-i-n التي من الفائدة ان تمتد كامل نطاق الطول الموجي وهي متوفره أيضا تجاريا، ولكن كما ذكرنا سابقا. التيارات المظلمة عالية نسبيا هي مشكلة (عادة 100 نانوامبير في 20 درجة مئوية زيادة إلى 1 نانوامبير عند 40 درجة مئوية).

However, III–V semiconductor alloys have been employed in the fabrication of longer wavelength region detectors.

ومع ذلك، تم استخدام سبائك شبه الموصلات V-III في تصنيع أجهزة الكشف عن منطقة الطول الموجي الأطول.

The favored material is the lattice-matched In0.53Ga0.47As/InP system which can detect at wavelengths up to 1.67 nm.

المادة المفضلة هي الشبيكة المتطابقة نظام In0.53Ga0.47As/InP والتي يمكن الكشف عنها عند أطوال موجية تصل إلى .nm 1.67

A typical planar device structure is shown in Figure 10.8(a) [Ref. 8] which requires epitaxial growth of several layers on an *n*-type InP substrate.

ويوضح الشكل 10-8 (a) النمو الفوقي يتطلب عدة من الطبقات على الركيزة InP من نوع N.

The incident light is absorbed in the low-doped *n*-type InGaAs layer generating carriers, as illustrated in the energy band diagram Figure 10.8(b). The discontinuity due to the homojunction

ويتم امتصاص الضوء الساقط في ناقلات توليد الطبقة InGaAs ذات النمط n منخفضة التشويب، كما هو مبين مخطط نطاق الطاقة في الشكل 10-8 (b). انقطاع بسبب مفترق التجانس

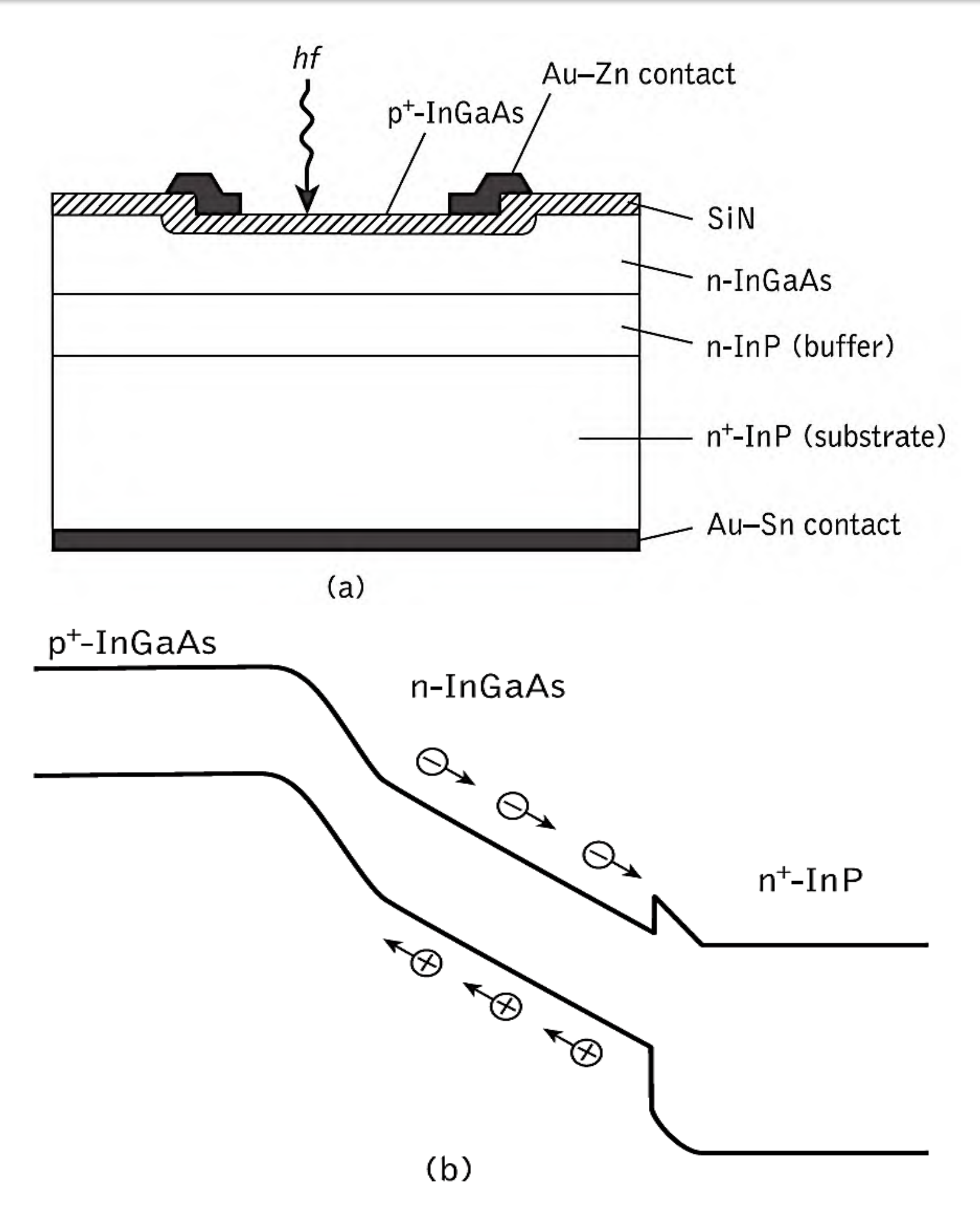


Figure 10.8 Planar InGaAs *p–i–n* photodiode: (a) structure; (b) energy band diagram showing homojunction associated with the conventional *p–i–n* structure between the n+-InP substrate and the n-InGaAs absorption region may be noted. This can be reduced by the incorporation of an *n*-type InP buffer layer.

The top entry device shown in Figure 10.8(a) is the simplest structure, with the light being introduced through the upper p+-layer.

جهاز الدخول العلوي الموضح في الشكل 8.10 (a) هو أبسط تركيب، مع إدخال الضوء من خلال الطبقة العليا -p+.

However, a drawback with this structure is a quantum efficiency penalty which results from optical absorption in the undepleted p+-region.

ومع ذلك، العيب مع هذا التركيب هو جزاء الكفاءة الكمومية التي تنتج عن الامتصاص البصري في منطقة -p+ الغير مستقرة.

In addition, there is a limit to how small such a device can be fabricated as both light access and metallic contact are required on the top.

وبالإضافة إلى ذلك، هناك حدود لكيفية تصنيع مثل هكذا جهاز صغيرة يمكن من خلاله من وصول الضوء والاتصال المعدني على الغطاء.

To enable smaller devices with lower capacitances to be made, a substrate entry technique is employed.

ولتمكين الأجهزة الأصغر حجما ذات السعة الأقل، يتم استخدام تقنية إدخال الركيزة.

In this case light enters through a transparent InP substrate and the device area can be fabricated as small as may be practical for bonding.

في هذه الحالة ضوء يدخل من خلال الركيزة الشفافة InP ومنطقة الجهاز يمكن تصنيعها صغيرة كما قد تكون عملية للترابط.

Conventional growth techniques for III–V semiconductors can be employed to fabricate these devices, although liquid-phase epitaxy (LPE) tends to be preferred because of the relative ease in obtaining the low doping levels needed (around 10^5 cm^{-3}) to obtain low capacitance (less than 0.2 pF).

ويمكن استخدام تقنيات النمو التقليدية لأشباه الموصلات III -V تعمل على تصنيع هذه الأجهزة، على الرغم من أن تنضيد طور السائل (LPE) يميل إلى أن يكون المفضل بسبب السهولة النسبية في الحصول على مستويات منخفضة التشويب اللازمة (حوالي 10^5 cm^{-3}) للحصول على منخفضة السعة (أقل من 0.2 بيكا فرداي).

However, LPE does not easily allow low-impurity-level concentrations and it is necessary to use long baking procedures over several days to purify the source material.

ومع ذلك، (LPE) لا يسمح بسهولة تركيزات منخفضة على مستوى الشوائب، وأنه من الضروري استخدام عمليات التلدين طويلة على مدى عدة أيام لتنقية مواد المصدر.

High-quality devices have been produced using metal oxide vapor-phase epitaxy (MOVPE), a technique which appears much more appropriate for large-scale production of such devices.

وقد تم إنتاج أجهزة عالية الجودة باستخدام معدن أكسيد تنضيد طور البخار (MOVPE)، وهي تقنية تبدو أكثر ملاءمة للإنتاج على نطاق واسع لهذه الأجهزة.

A substrate entry *p–i–n* photodiode is shown in Figure 10.9(a).

ويبين الشكل 9.10 (a) إدخال الركيزة الصمام الثنائي الضوئي P-i-n.

This device incorporates a p+-InGaAsP layer to provide a heterojunction structure (Schottky barrier) which improves quantum efficiency.

يتضمن هذا الجهاز طبقة p+-InGaAsP لتوفير بنية متغاير (حاجز شوتكي) مما يحسن من كفاءة الكم.

Moreover, it is fabricated as a mesa structure which reduces parasitic capacitances.

وعلاوة على ذلك، هو مصنعة كتركيب ميسا الذي تقلل من السعة المضافة.

Unfortunately, charge trapping can occur at the *n–p*+-InGaAs/ InGaAsP interface which may be observed in the energy band diagram of Figure 10.9(b).

لسوء الحظ، يمكن أن تحدث محاصرة شحنة في واجهة *n–p*+-InGaAs/ InGaAsP التي يمكن ملاحظتها في الرسم تخطيطي لفجوة الطاقة في الشكل 9.10 (b).

This may cause limitations in the response time of the device

قد يسبب هذا قيودا في زمن استجابة الجهاز.

.However, small-area substrate entry devices can be produced with extremely low capacitance (less than 0.1 pF), quantum efficiency between 75% and 100% and dark currents less than 1 nA.

ومع ذلك، يمكن أن تنتج أجهزة دخول الركيزة منطقة صغيرة مع السعة منخفضة للغاية (أقل من 0.1 بيكا فرداي)، وكمية الكم بين 75٪ و 100٪ والتيارات المظلمة أقل من 1 نانوامبير.

In both device types a depleted InGaAs layer of around 3 nm is used which provides high quantum efficiency and bandwidth.

في كل من أنواع الجهاز يتم استنفاد طبقة InGaAs المستنفدة من حوالي 3 nm الذي يوفر كفاءة الكم عالية وعرض النطاق الترددي.

Furthermore, low doping permits full depletion of the InGaAs layer at low voltage (5 V).

وعلاوة على ذلك، يسمح التشويب با نخفاض الاستنزاف الكامل للطبقة InGaAs في الجهد المنخفض (5 V).

The short transit times in the relatively narrow depletion layers give a theoretical bandwidth of approximately 15 GHz.

وتتيح أوقات العبور القصيرة في طبقات النضوب الضيقة نسبيا عرض نطاق نظري يبلغ حوالي 15 كيكًا هيرتز تقريبا.

However, the bandwidth of commercially available packaged detectors is usually between 1 and 2 GHz due to limitations of the packaging.

ومع ذلك، فإن عرض نطاق أجهزة الكشف المعبأة المتاحة تجاريا عادة ما يتراوح بين 1 و 2 كيكًا هيرتز بسبب القيود المفروضة على الحزم.

A photodiode containing a waveguide structure, known as a mushroom waveguide, can, however, be used to overcome the bandwidth–quantum efficiency trade-off between the device capacitance and contact resistance.

ويمكن استخدام الصمام الثنائي الضوئي الذي يحتوي على بنية الدليل الموجي، والمعروفة باسم الدليل الموجي المنتشر، للتغلب على عرض النطاق الترددي لكفاءة الكم المفاضلة بين سعة الجهاز ومقاومة الاتصال.

This structure, which is illustrated in Figure 10.9, comprises a thin layer of InGaAs (thickness of 0.20 nm) used as the absorption material which is lattice matched to an InP substrate thus providing operation at a wavelength of 1.55 nm.

هذا التركيب، الذي هو موضح في الشكل 9.10، يتكون من طبقة رقيقة من InGaAs (سمك 0.20 نانومتر) المستخدمة كمادة الامتصاص التي هي متطابقة شعرية مع الركيزة InP وبالتالي توفير العملية في الطول الموجي من 1.55 نانومتر.

It may be observed that two graded layers of InGaAsP material, each having a thickness of 0.80 nm, are also employed above and below the absorption layer to avoid charge trapping.

وتجدر الإشارة إلى أن طبقتين متدرجتين من مواد InGaAsP ، لكل منهما سماكة 0.80 nm، تستخدم أيضا فوق وتحت طبقة الامتصاص لتجنب محاصرة الشحنة.

Since the device is side illuminated its quantum efficiency is therefore a function of the length of the absorption layer and also the thickness of this layer determines the amount of electron drift time. Thus a long and thin

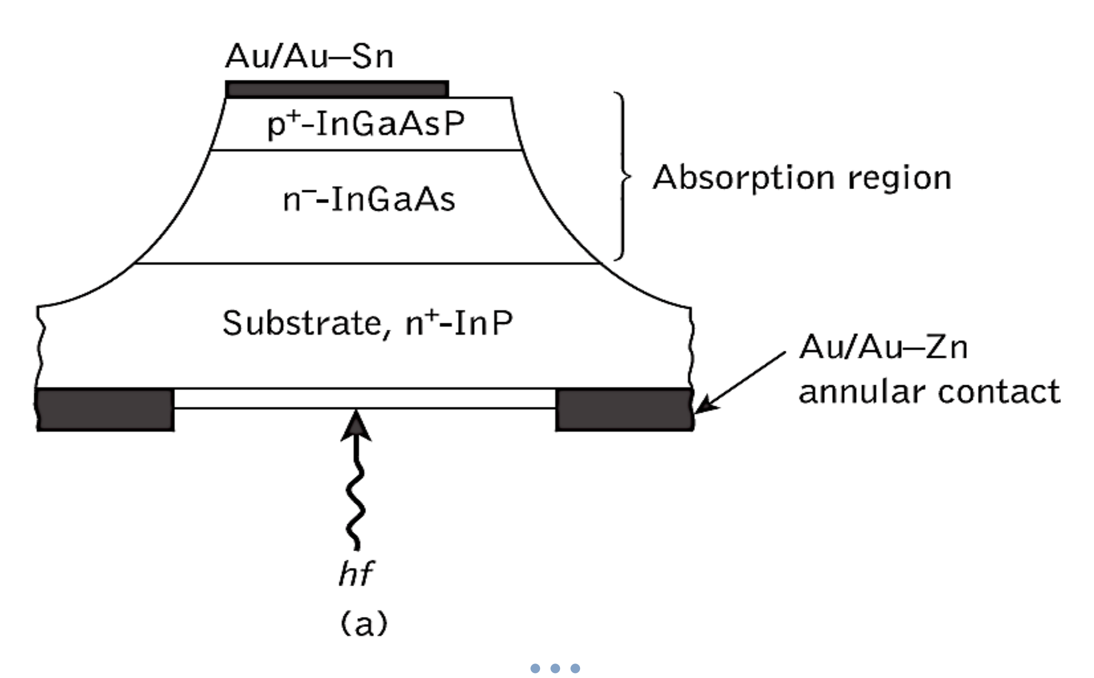
وبما أن الجهاز هو الجانب المضيئ بكفاءتها الكم وهو بالتالي وظيفة من طول طبقة امتصاص وأيضا سمك هذه الطبقة يحدد مقدار وقت انجراف الإلكترون. وهكذا تكون طويلة ورقيقة

* Top entry is also referred to as front illumination.

† Substrate entry is also referred to as back illumination.

* يشار إلى أعلى الدخول أيضا باسم الإضاءة الأمامية.

يشار إلى إدخال الركيزة أيضا باسم الإضاءة الخلفية.



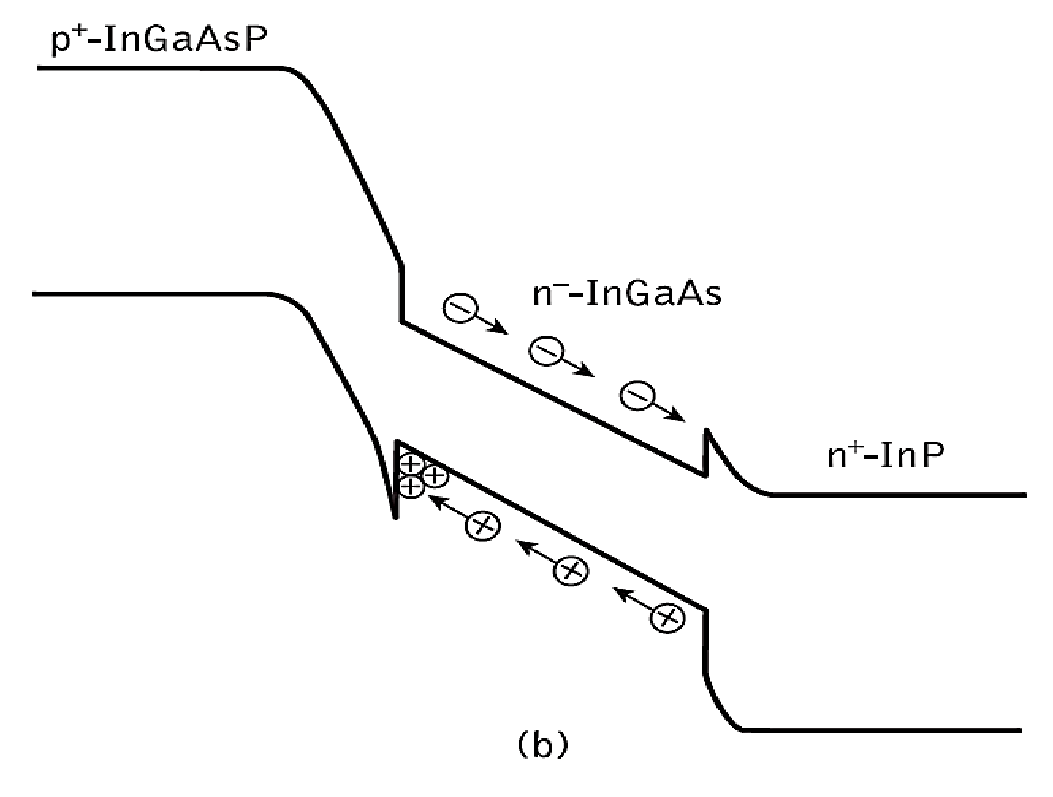


Figure 10.9 Substrate entry InGaAs *p–i–n* photodiode: (a) structure; (b) energy band diagram illustrating the heterojunction and charge trapping

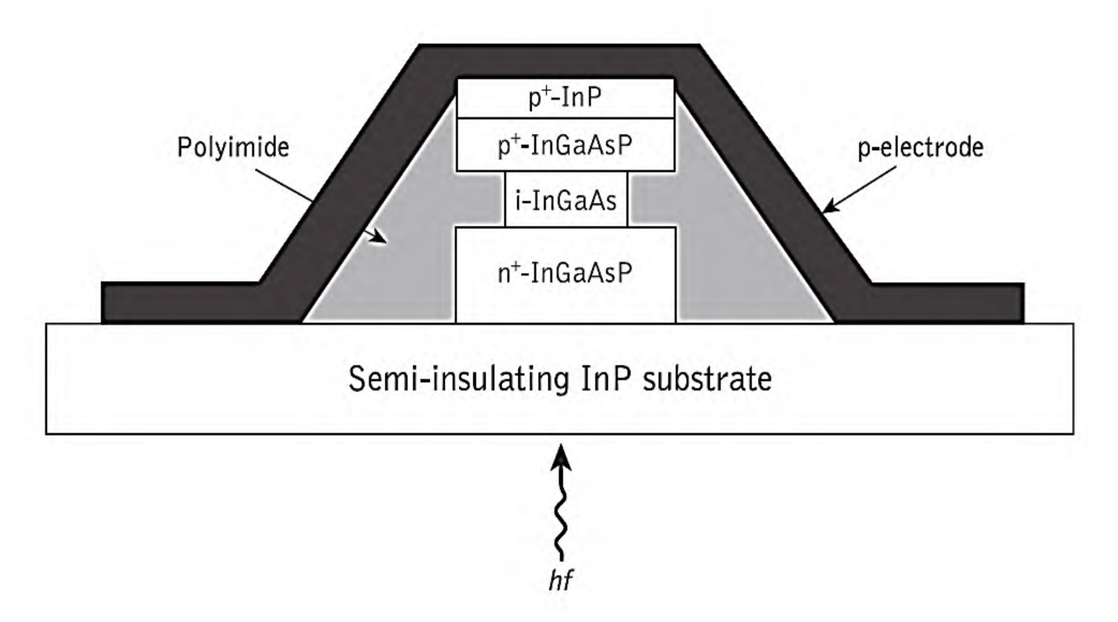


Figure 10.10 Structure of a mushroom waveguide photodiode

Absorption layer provides both high quantum efficiency and fast response times.

High-speed operation up to 110 GHz with 50% quantum efficiency using such structures been demonstrated.

It should also be noted that in the mushroom waveguide structure the light and the carriers travel in different directions and therefore the device bandwidth and the quantum efficiency are not too dependent on each other.

Hence quantum efficiencies of greater than 80% at a bandwidth of 10 GHz have been obtained using this waveguide structure.

توفر طبقة الامتصاص لكلا من كفاءة الكم العالية ووقت الاستجابة السريعة.

وأظهرت عملية السرعة العالية تصل إلى 110 كيكاهرتز مع كفاءة الكم 50٪ باستخدام هذه التراكيب .

وتجدر الإشارة أيضا إلى أنه في تركيب الدليل الموجي ينتشر الضوء وناقل التيار في اتجاهات مختلفة، وبالتالي فإن عرض النطاق الترددي للجهاز وكفاءة الكم لا تعتمد أيضا على بعضها البعض.

ومن ثم تم الحصول على كفاءات كمية أكبر من٪ 80 عند عرض نطاق قدره 10 كَيكَاهرتز باستخدام بنية الدليل الموجي.

10.6.3 Speed Of Response and Traveling-Wave Photodiodes

Three main factors limit the speed of response of a photodiode. These are :

1. *Drift time of carriers through the depletion region*. The speed of response of a photodiode is fundamentally limited by the time it takes photogenerated carriers to drift across the depletion region.

When the field in the depletion region exceeds a saturation value, the carriers may be assumed to travel at a constant (maximum)

3.6.10 سرعة الاستجابة و الصمام الثنائي الضوئي لمسيرة الموجة

ثلاثة عوامل رئيسية تحد من سرعة الاستجابة في الصمام الضوئي. وهم :

1. وقت الانجراف من الناقلات من خلال منطقة الاستنزاف. إن سرعة الاستجابة للصمام الثنائي الضوئي محدودة بشكل أساسي من الوقت الذي يستغرقه ناقلات مولدات الضوء للانجراف عبر منطقة الاستزاف.

وعندما يتجاوز المجال في منطقة الاستزاف قيمة التشبع، يمكن افتراض أن الموجات الحاملة تسير بسرعة ثابتة (كحد أقصى) للسرعة الانجرافية υ_d. أطول وقت عبور،

drift velocity υ_d.. The longest transit time, t_{drift}, is for carriers which must traverse the full depletion layer width w and is given by:

t_{drift} ، هو للناقلات التي يجب اجتياز كامل استنزاف عرض طبقة w وتعطى من قبل:

$$t_{drift} = \frac{w}{v_d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.15)$$

A field strength above $2 \cdot 10^4$ V cm^{-1} in silicon gives maximum (saturated) carrier velocities of approximately 10^7 cm s^{-1}.

وتعطي شدة المجال فوق $2 \cdot 10^4$ V cm^{-1} في السليكون سرعات حاملة قصوى (مشبعة) تبلغ حوالي 10^7 cm s^{-1}.

Thus the transit time through a depletion layer width of 10 μm is around 0.1 ns.

وبالتالي فإن وقت العبور من خلال عرض طبقة استنزاف 10 μm حوالي 0.1 ns.

2. *Diffusion time of carriers generated outside the depletion region.*

2. وقت نشر ناقلات ولدت خارج منطقة الاستنزاف.

Carrier diffusion is a comparatively slow process where the time taken, t_{diff}, for carriers to diffuse a distance d may be written as:

انتشار الموجة الحاملة هو عملية بطيئة نسبيا حيث يمكن كتابة الوقت الذي يستغرقه t_{diff} ، بالنسبة إلى الموجات الحاملة لنشر المسافة d على النحو التالي:

$$t_{diff} = \frac{d^2}{2D_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10.16)$$

Where Dc is the minority carrier diffusion coefficient.

حيث يكون Dc معامل انتشار حاملة الأقلية.

For example, the hole diffusion time through 10 μm of silicon is 40 ns whereas the electron diffusion time over a similar distance is around 8 ns.

على سبيل المثال، وقت نشر الفجوة من خلال 10 μm من السيليكون هو 40 ns في حين أن وقت نشر الإلكترون على مسافة مماثلة حوالي 8 نانوثانية.

3. *Time constant incurred by the capacitance of the photodiode*

3. الوقت المستمر التي تتكبدها السعة من الضوئية مع حمولتها.

with its load.

A reversebiased photodiode exhibits a voltage-dependent capacitance caused by the variation in the stored charge at the junction.

ويعرض الصمام الثنائي الضوئي المعكوس السعة التي تعتمد على الجهد الناتج عن الاختلاف في الشحنة المخزنة عند الحقن.

The junction capacitance C_j is given by:

ويعطى حقن المتسعات C_j من قبل:

$$C_j = \frac{\varepsilon_S A}{w} \quad \text{..........} \quad (10.17)$$

Where ε_s is the permittivity of the semiconductor material and *A* is the diode junction area.

Hence, a small depletion layer width *w* increases the junction capacitance.

حيث ε_s هي سماحية المواد أشباه الموصلات و A هو منطقة تقاطع الصمام الثنائي.
وبالتالي، فإن عرض طبقة الاستنزاف صغيرة *w* يزيد من سعة التقاطع.

The capacitance of the photodiode *C*d is that of the junction together with the capacitance of the leads and packaging. This capacitance must be minimized in order to reduce the *RC* time constant which also limits the detector response time.

السعة من الصمام الثنائي الضوئي *C*d أن من تقاطع جنبا إلى جنب مع السعة يؤدي الى الحزم. يجب تقليل هذه السعة من أجل الحد من ثابت الوقت *RC* الذي يحد أيضا من زمن استجابة الكاشف.

Example 10.4

A silicon *p–i–n* photodiode has an intrinsic region with a width of 20 μm and a diameter of 500 μm in which the drift velocity of electrons is 105 m s−1. When the permittivity of the device material is 10.5 × 10−13 F cm−1, calculate: (a) the drift time of the carriers across the depletion region; (b) the junction capacitance of the photodiode.

Solution: (a) The drift time for the carriers across the depletion region for the photodiode can be obtained using Eq. (10.15) as:

$$t_{\text{drift}} = \frac{W}{v_d}$$

$$\therefore \qquad t_{\text{drift}} = \frac{20X\ 10^{-6}}{1X\ 10^{5}}$$

$$t_{\text{drift}} = 2\text{x } 10^{-10}\text{ s}$$

The drift time for the carriers across the depletion region is therefore 200 ps.

(b) The junction capacitance is given by Eq. (10.17) as:

$$C_j = \frac{\varepsilon_S A}{w}$$

Where the area $A = \pi \text{ x } r^2 = 3.14 \text{ x } (500 \text{ x} 10^{-6})^2 = 0.79 \text{ x } 10^{-6}\text{ m}^2$.

Therefore:

$$C_j = \frac{10.5\ X\ 10^{-13}\ X\ 0.79X\ 10^{-6}}{20\ X\ 10^{-6}}$$

$$\therefore \qquad C_j = 0.41\text{ X } 10^{-13}$$

The photodiode has a junction capacitance of 4 pF.

Chapter 11

Modulation

11 Modulation

11 التضمين

11.1 Introduction

1.11 المقدمة

Modulation is a process through which audio, video, image or text information is added to an electrical or optical carrier signal to be transmitted over a telecommunication or electronic medium. Modulation enables the transfer of information on an electrical signal to a receiving device that demodulates the signal to extract the blended information.

والتضمين هو عملية تتم من خلالها إضافة معلومات صوت أو فيديو أو صورة أو نص إلى إشارة حاملة كهربائية أو بصرية ترسل عبر وسط اتصالات أو وسيلة إلكترونية. ويتيح التضمين نقل المعلومات من الإشارة الكهربائية إلى جهاز الاستلام والذي يعمل على إزالة تضمين الإشارة لاستخراج المعلومات المخلوطة.

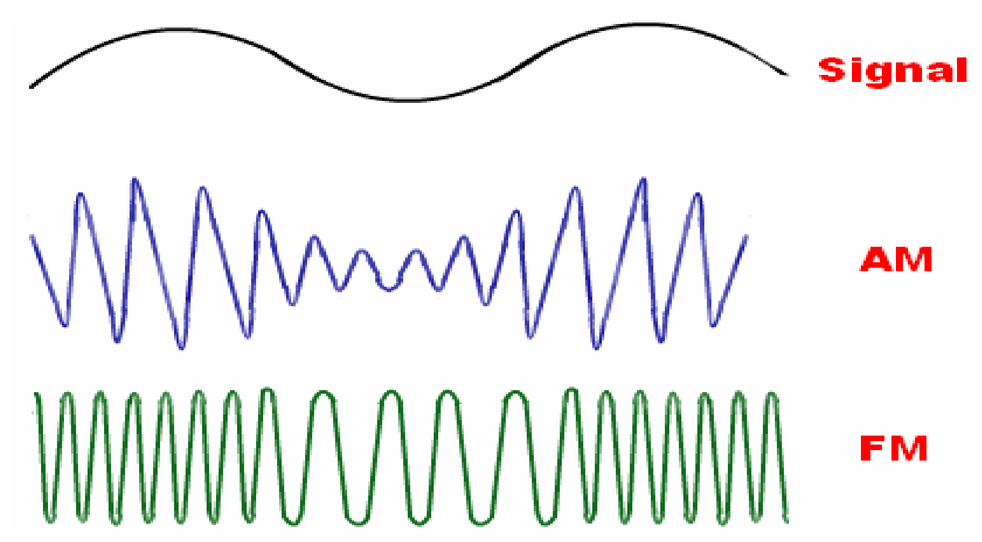


Figure 11.1: Illustrates Modulation is a process in which the base band signal modifies another high-frequency signal called the carrier.

In order to transmit information via an optical fiber communication system it is necessary to modulate a property of the light with the information signal. This property may be intensity, frequency, phase or polarization (direction) with either digital or analog signals.

من أجل نقل المعلومات عن طريق نظام اتصالات الألياف الضوئية فمن الضروري تعديل خاصية الضوء مع إشارة المعلومات. وقد تكون هذه الخاصية شدة أو تردد أو طور أو استقطاب (اتجاه) مع إشارات رقمية أو تناظرية.

The choices are indicated by the characteristics of the optical fiber, the available optical sources and detectors, and considerations of the overall system.

يشار إلى الخيارات من خلال خصائص الألياف البصرية، والمصادر البصرية المتاحة والكاشفات، واعتبارات النظام العام.

However, at present in optical fiber communications considerations of the above for practical systems tend to dictate some form of intensity modulation of the source.

ومع ذلك، في الوقت الحاضر في اهتمام لإتصالات الألياف البصرية في التضمين للطريقة العملية تميل إلى إملاء شكل من أشكال تشكيل كثافة المصدر.

Although much effort has been expended and considerable success has been achieved in the area of coherent optical communications (see Chapter 13), the widespread deployment of such systems will still take some further time.

وعلى الرغم من أن الكثير من الجهد قد أنفق وأن نجاحا كبيرا قد تحقق في مجال الاتصالات البصرية المتشاكه، فإن الانتشار الواسع النطاق لهذه النظم سيظل يستغرق مزيدا من الوقت.

Therefore intensity modulation (IM) of the optical source and envelope or direct detection (DD) at the optical receiver is likely to remain the major modulation strategy in the immediate future.

ومن المرجح أن يظل تضمين الشدة (IM) للمصدر البصري والمضمن أو الكاشف المباشر (DD) عند المُستقبِل البصري هو استراتيجية التضمين الرئيسية في المستقبَل القريب.

Intensity modulation is easy to implement with the electroluminescent sources available at present (LEDs and injection lasers). These devices can be directly modulated simply by variation of their drive currents at rates up to many gigahertz. Thus direct modulation of the optical source is satisfactory for many of the modulation bandwidths currently in use.

تضمين الكثافة تصبح سهلة التنفيذ مع المصادر الكهربائيه المتاحة في الوقت الحاضر (المصابيح وأشعة الليزر). هذه الأجهزة يمكن أن تتضمن مباشرة ببساطة عن طريق تغيير التيارات محركها في معدلات تصل إلى العديد من كَيكاهرتز. وهكذا يكون التضمين المباشر للمصدر البصري مرضيا للعديد من عروض نطاق التضمين المستخدمة حاليا.

However, there is increasing interest in integrated photonic devices where external optical modulators are used in order to achieve greater bandwidths and to allow the use of optical amplifiers and nonsemiconductor sources (e.g. Nd : YAG laser) which cannot be directly modulated at high frequency.

بيد أن هناك اهتماما متزايدا بالأجهزة الضوئية المتكاملة التي تستخدم فيها أجهزة ضبط ضوئية خارجية من أجل تحقيق عرض نطاق أكبر، والسماح باستخدام مضخمات بصرية ومصادر غير موصلة لأشباه الموصلات (مثل ليزر نيديوم: وليزر الياك) الذي لا يمكن تضمينه مباشرة عند التردد العالي.

External optical modulators are active devices which tend to be used primarily to modulate the frequency or phase of the light, but may also be used for time division multiplexing and switching of optical signals. However, modulation considerations within this text will mainly be concerned with the direct modulation of the intensity of the optical source.

والمؤثرات البصرية الخارجية هي أجهزة نشطة تميل إلى أن تستخدم أساسا لتعديل تردد أو طور الضوء، ولكنها يمكن أن تستخدم أيضا لتعدد الإرسال بتقسيم الزمن وتحويل الإشارات البصرية. بيد أن اعتبارات التضمين في هذا النص ستعنى أساسا بالتضمين المباشر لشدة المصدر البصري.

Intensity modulation may be utilized with both digital and analog signals .

يمكن استخدام تضمين الشدة مع الإشارات الرقمية والتناظرية

Analog intensity modulation is usually easier to apply but requires comparatively large signal-to-noise ratios and therefore it tends to be limited to relatively narrow-bandwidth, short-distance applications.

وعادة ما يكون من السهل تطبيق التضمين التماثلي التناظري ولكنه يتطلب نسبا كبيرة نسبيا من الإشارة إلى الضوضاء، وبالتالي فإنه يميل إلى أن يقتصر على عرض النطاق الضيق نسبيا، وتطبيقات المسافات القصيرة.

Alternatively, digital intensity modulation gives improved noise immunity but requires wider bandwidths, although these may be small in comparison with the available bandwidth.

وبدلا من ذلك، فإن التضمين الرقمي للشدة يعطي مناعة الضوضاء المحسنة ولكنه يتطلب عرض نطاق أوسع، على الرغم من أنها قد تكون صغيرة بالمقارنة مع عرض النطاق المتاح.

It is therefore ideally suited to optical fiber transmission where the available bandwidth is large. Hence at present most fiber systems in the medium- to long-distance range use digital intensity modulation.

ولذلك فمن المناسب بشكل مثالي للنقل في الألياف الضوئية حيث عرض النطاق الترددي المتاحة كبيرة. ومن ثم، فإن معظم أنظمة الألياف في المدى المتوسط إلى المدى الطويل تستخدم التضمين الرقمي للشدة.

11.2 Why Use Modulation?

2.11 لماذا يستخدام التضمين؟

Clearly the concept of modulation can be a little tricky, especially for the people who don't like trigonometry.

ومن الواضح أن مفهوم التضمين يمكن أن يكون صعبا قليلا، وخاصة بالنسبة للأشخاص الذين لا يحبون علم المثلثات.

Why then do we bother to use modulation at all? To answer this question, let's consider a channel that essentially acts like a bandpass filter:

لماذا إذن نحن نهتم باستخدام التضمين على الإطلاق؟ للإجابة على هذا السؤال، لننظر في قناة تعمل بشكل أساسي مثل فلتر الموجة العريضة:

both the lowest frequency components and the highest frequency components are

فإن كل من أدنى مكونات التردد وأعلى مكونات التردد تكون موهنة أو غير صالحة للاستعمال بطريقة ما، مع أن الإرسال لا

attenuated or unusable in some way, with transmission only being practical over some intermediate frequency range.

يكون عمليا إلا في بعض نطاقات الترددات المتوسطة.

If we can't send low-frequency signals, then we need to shift our signal up the frequency ladder. Modulation allows us to send a signal over a bandpass frequency range. If every signal gets its own frequency range, then we can transmit multiple signals simultaneously over a single channel, all using different frequency ranges.

إذا لم نتمكن من إرسال إشارات التردد المنخفض، و نحن بحاجة إلى تحويل إشارة لدينا لتصل سلم التردد. التضمين يسمح لنا بإرسال إشارة على مدى تردد الموجه. إذا كل إشارة يحصل على نطاق التردد الخاصة بها، ثم يمكننا نقل إشارات متعددة في وقت واحد على قناة واحدة، وذلك باستخدام نطاقات تردد مختلفة.

Another reason to modulate a signal is to allow the use of a smaller antenna. A baseband (low frequency) signal would need a huge antenna because in order to be efficient, the antenna needs to be about 1/10th the length of the wavelength. Modulation shifts the baseband signal up to a much higher frequency, which has much smaller wavelengths and allows the use of a much smaller antenna.

وثمة سبب آخر لتعديل الإشارة هو السماح باستعمال هوائي أصغر. وستحتاج إشارة النطاق الأساسي (التردد المنخفض) إلى هوائي ضخم، لكي يكون الهوائي فعالا، يكون طوله حوالي 1/10 من الطول الموجي.

ويحول تضمين إشارة النطاق الأساسي إلى تردد أعلى بكثير، له أطوال موجية أصغر بكثير ويسمح باستخدام هوائي أصغر بكثير.

poor reception is one of the reason. low frequency signals are get attenuated in space while high frequency do not get attenuated in space as fast as low frequency and can travel along long distance. thus if low frequency are used for some application then strength will be less, resulting poor reception.

والاستقبال الضعيف هو احد الاسباب. يتم الحصول على موهن إشارات التردد المنخفض في الفضاء في حين أن ارتفاع وتيرة لا تحصل على الموهن في الفضاء بأسرع تردد منخفض ويمكن أن يسير على طول مسافة طويلة. وبالتالي إذا تم استخدام التردد المنخفض لبعض التطبيقات ثم القوة ستكون أقل، مما أدى إلى الاستقبال الضعيف .

Modulation is primarily used in telecommunication technologies that require the transmission of data via electrical signals. It is considered the backbone of data communication because it enables the use of electrical and optical signals as information carriers.

ويستخدم التضمين في المقام الأول في تكنولوجيات الاتصالات التي تتطلب إرسال البيانات عبر الإشارات الكهربائية. وهو يعتبر العمود الفقري لاتصالات البيانات لأنه يتيح استخدام الإشارات الكهربائية والبصرية كحامل للمعلومات.

Modulation is achieved by altering the periodic waveform or the carrier. This includes carrying its amplitude, frequency and phase. Modulation has three different types:

ويتحقق التعديل عن طريق تغيير الموجة الدورية أو الموجة الحاملة. ويشمل ذلك حمل اتساعها وترددها وطورها.

التضمين له ثلاثة أنواع مختلفة:

11.3 Types of Modulation

3.11 انواع التضمين

1-Amplitude Modulation (AM).
2- Frequency Modulation (FM).
3- Phase Modulation (PM).

1- تضمين السعة (AM).
2- تضمين التردد (FM).
3- تضمين الطور (PM).

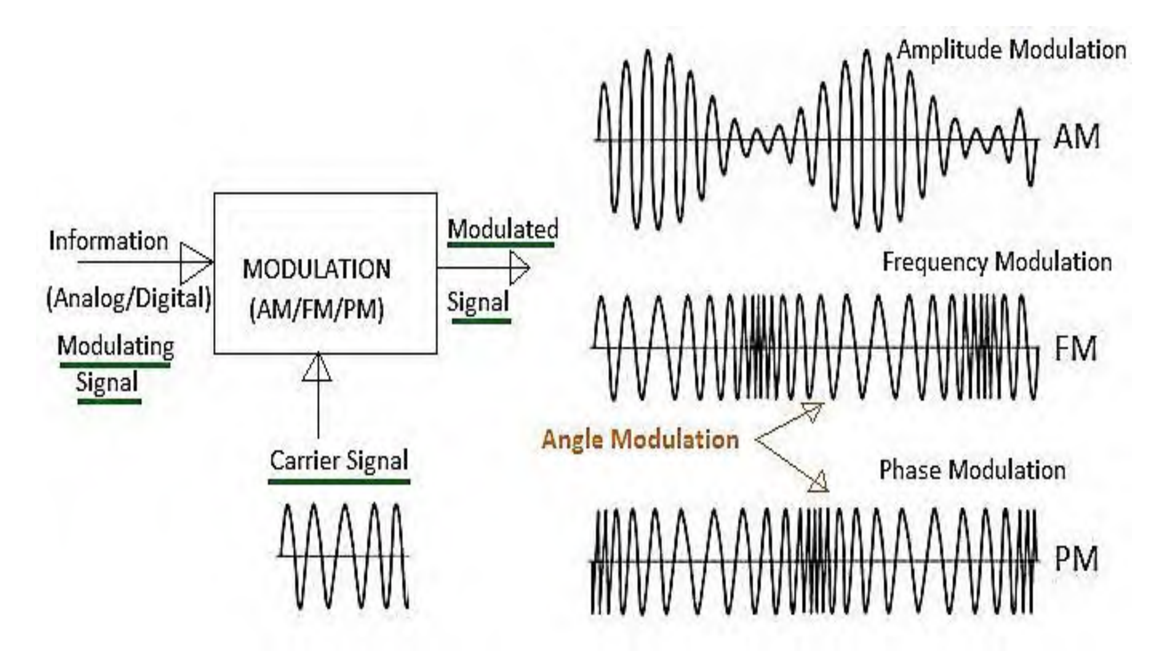


Figure 11.2: Show Types of Modulation.

11.3.1 Amplitude Modulation (AM):

a type of modulation where the amplitude of the carrier signal is modulated (changed) in proportion to the message signal while the frequency and phase are kept constant. This is called amplitude modulation or AM.

1.3.11 تضمين السعة (AM):

وهو نوع من انواع التضمين حيث يتم تضمين اتساع إشارة الموجة الحاملة (تتغير) بما يتناسب مع إشارة الرسالة بينما يبقى التردد والطور ثابتين. وهذا ما يسمى تضمين السعة أو AM.

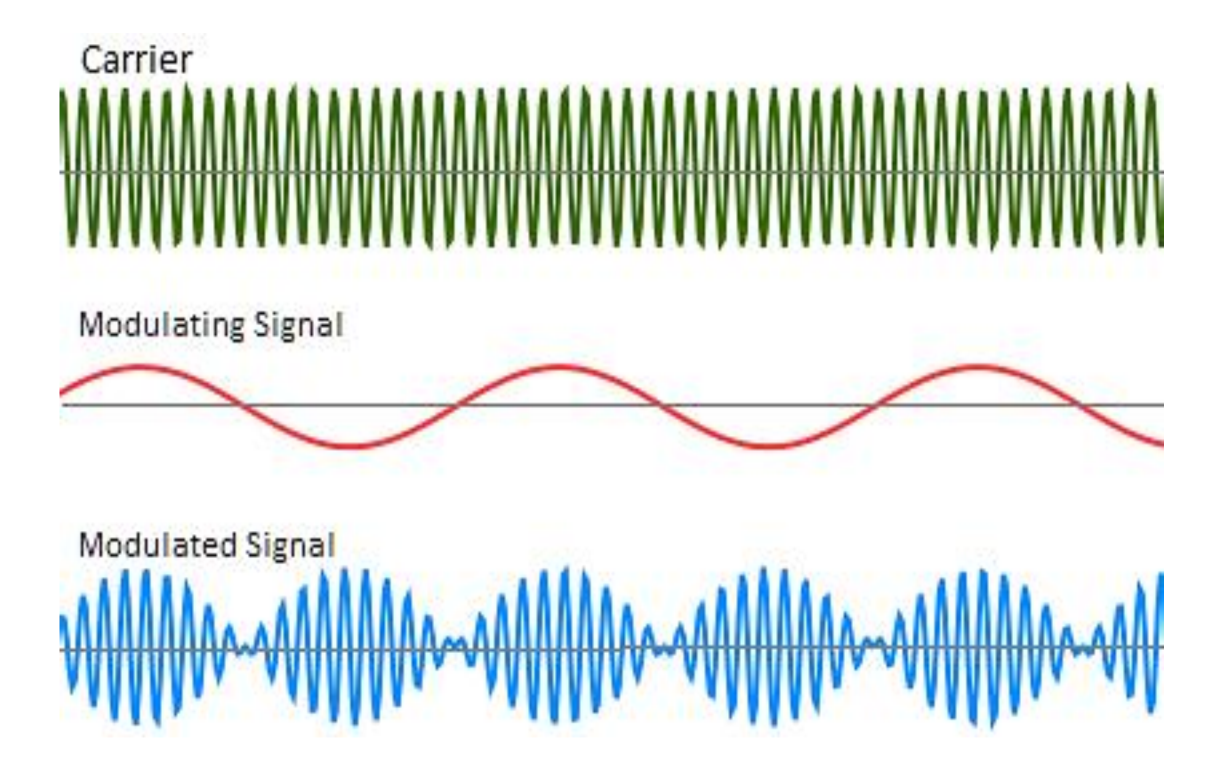


Figure 11.3: Amplitude Modulation (AM).

11.3.2 Frequency Modulation (FM):

a type of modulation where the frequency of the carrier signal is modulated (changed) in proportion to the message signal while the amplitude and phase are kept constant. This is called frequency modulation or FM.

2.3.11 تضمين التردد (FM):

وهو نوع من انواع التضمين حيث يتم تعديل تردد إشارة الموجة الحاملة (تغيير) بالتناسب مع إشارة الرسالة بينما يبقى الاتساع والطور ثابتين. وهذا ما يسمى بتضمين التردد أو FM.

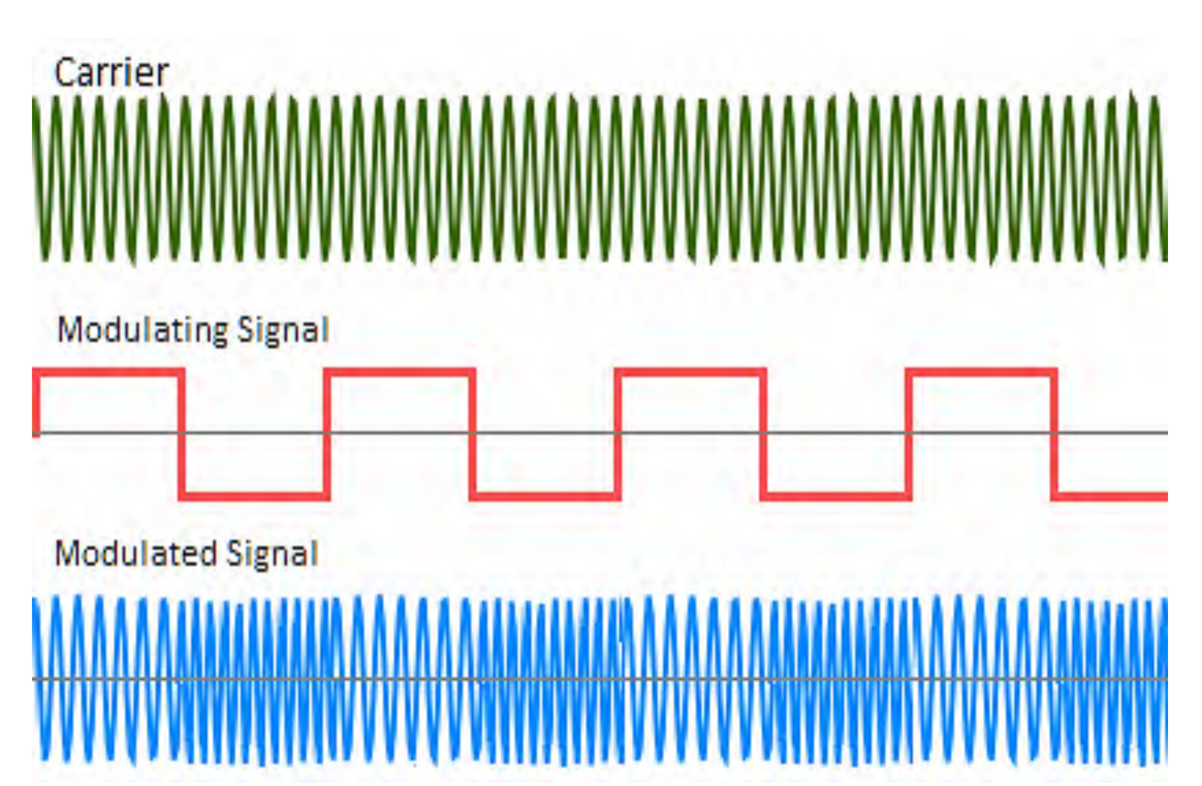


Figure 11.4: Frequency Modulation (FM).

11.3.3 Phase Modulation (PM):

3.3.11 تضمين الطور (PM):

a type of modulation where the phase of the carrier signal is varied accordance to the low frequency of the message signal is known as phase modulation.

فإن نوع تضمين الطور الذي تتغير فيه إشارة الموجة الحاملة تبعا للتردد المنخفض لإشارة الرسالة يعرف بتضمين الطور او **PM**.

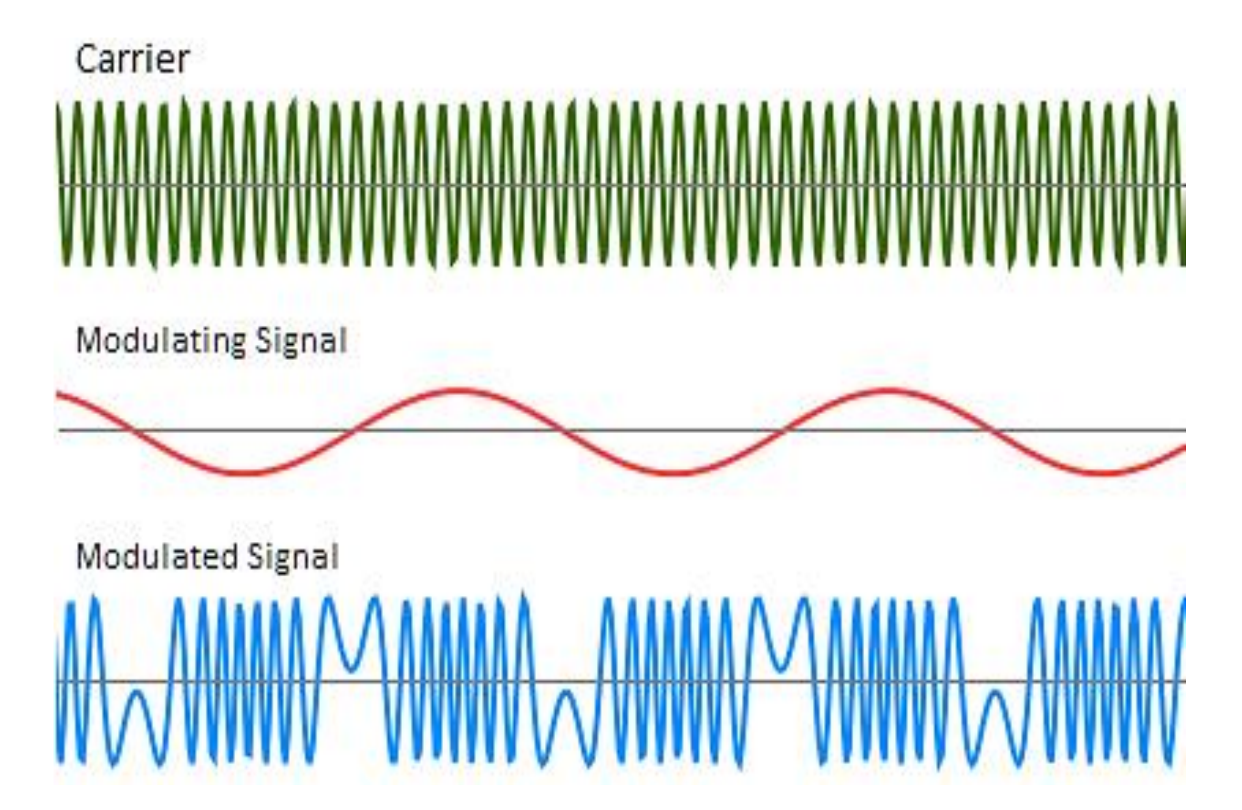


Figure 11.5: Phase Modulation (PM).

These two strategies can be combined to create a third scheme. In fact, any strategy that combines an input signal with a carrier wave to encode speech or other useful information is called a modulation scheme.

ويمكن الجمع بين هاتين الاستراتيجيتين لإنشاء مخطط ثالث. في الواقع، أي استراتيجية تجمع بين إشارة الدخل مع الموجة الحاملة لترميز الكلام أو غيرها من المعلومات المفيدة يسمى مخطط التشكيل.

Modulation schemes can be analog or digital. An analog modulation scheme has an input wave that varies continuously like a sine wave. In digital modulation scheme, it's a little more complicated.

ويمكن أن تكون مخططات التضمين تناظرية أو رقمية. ويحتوي مخطط التشكيل التناظري على موجة دخل تتغير باستمرار مثل موجة جيبية. اما في مخطط التشكيل الرقمي، فانها أكثر تعقيدا قليلا.

Voice is sampled at some rate and then compressed and turned into a bit stream – a stream of zeros and ones – and this in turn is created into a particular kind of wave which is then superimposed on the carrier.

يتم أخذ عينات الصوت في معدل البعض ثم ضغطها وتحويلها إلى تيارمن البت - تيار من الأصفار والواحدات (0-1) - وهذا بدوره يتم إنشاؤها في نوع معين من الموجة التي يتم فرضها على الناقل.

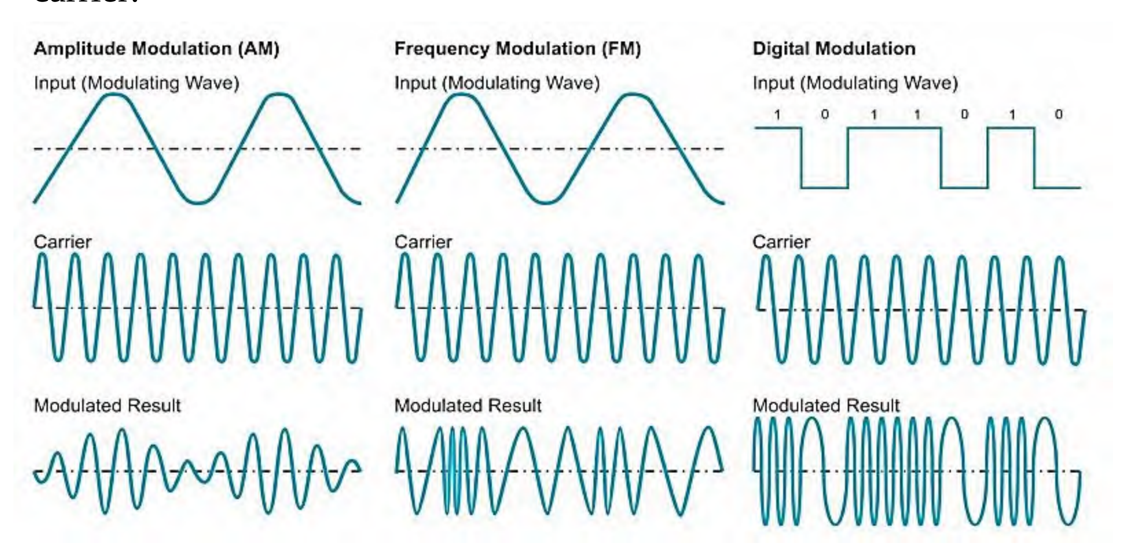


Figure 11.6: Modulation schemes.

Examples: A modem is a common example/implementation of a modulation technique in which the data is modulated with electrical signals and transmitted over telephone lines. It is later demodulated to receive the data.

أمثلة: والمودم هو مثال / تنفيذ شائع لأسلوب التضمين الذي يتم فيه تضمين البيانات بإشارات كهربائية ويتم إرسالها عبر خطوط الهاتف. يتم إزالة تضمينها لاحقا لتلقي البيانات.

Think about your car radio. There are more than a dozen (or so) channels on the radio at any time, each with a given frequency: 100.1 MHz, 102.5 MHz etc... Each channel gets a certain range (usually about 0.22 MHz), and the entire station gets transmitted over that range. Modulation makes it all possible, because it allows us to send voice and music (which are essential baseband signals) over a bandpass (or "Broadband") channel.

فكر في راديو السيارة. هناك أكثر من اثني عشر قناة (أو نحو ذلك) على الراديو في أي وقت، ولكل منها تردد معين: 100.1 ميگاهرتز، 102.5 ميگاهرتز وغيرها ... كل قناة تحصل على نطاق معين (عادة حوالي 0.22 ميگاهيرتز)، والمحطة بأكملها يحصل على هذا النطاق. التعديل يجعل كل شيء ممكنا، لأنه يسمح لنا بإرسال الصوت والموسيقى (التي هي إشارات القاعدي الأساسية) على قناة الموجة العريضة (أو "النطاق العريض").

11.4 Modulation Index

4.11 عامل التضمين

Modulation Index indicates the depth of modulation. As the amplitude of the modulating signal increases, modulation index increases. For amplitude modulation, the modulation index is given as:

يشير عامل التضمين إلى عمق التضمين. كلما يزيد اتساع إشارة التحوير، يزيد عامل التضمين. وفيما يتعلق بتضمين الاتساع، يعطى عامل التضمين على النحو التالي:

$$m = \frac{Em}{Ec}$$

$$m = \frac{Amplitude\ of\ modulating\ signal}{Amplitude\ of\ the\ carrier}$$

For frequency modulation

$$m = \frac{\delta}{fm}$$

$$m = \frac{Maximum\ frequency\ deviation}{Modulating\ frequency}$$

11.5 Modulate the Information

5.11 تضمين المعلومات

We can modulate the information bearing signal into two types namely. These are called Modulation Techniques.

يمكننا تضمين المعلومات التي تحمل إشارة إلى نوعين هما. وتسمى هذه التقنيات التضمين.

1- Analog Modulation.
2- Digital Modulation.

1- التضمين التناظري.
2- التضمين الرقمي.

Analog modulation is the process of converting an analog input signal into a signal that is suitable for RF transmission.

التضمين التناظري هو عملية تحويل إشارة دخل تناظرية إلى إشارة مناسبة لنقل الترددات الراديوية RF.

Digital modulation is the process of converting a digital bit stream into an analog signal suitable for RF transmission.

والتضمين الرقمي هو عملية تحويل تيار بت رقمي إلى إشارة تناظرية مناسبة لإرسال الترددات الراديوية RF.

11.5.1 Analog Modulation

1.5.11 التضمين التناظري

The Analog carrier signal is modulated by analog information signal so that information bearing analog signal can travel larger distance without the fear of loss due to absorption.

يتم تضمين إشارة الناقل التناظرية من قبل إشارة المعلومات التناظرية بحيث يمكن أن تحمل المعلومات التي تحمل الإشارة التناظرية مسافة أكبر دون الخوف من الفقدان بسبب الامتصاص.

The Analog modulation is of two types:

1- Amplitude Modulation.
2- Angle Modulation**.**

التضمين التناظري هو من نوعين:

1- تضمين السعة.
2- تضمين الزاوية.

The Angle modulation is further classified as Frequency modulation and Phase Modulation.

ويصنف التضمين الزاوي أيضا على أنه تضمين التردد وتضمين الطور.

Amplitude Modulation: In this type of modulation the strength of the carrier signal is varied with the modulating signal.

تضمين السعة: في هذا النوع من التضمين تتنوع قوة إشارة الموجة الحاملة مع إشارة التضمين.

Frequency Modulation: In this type of modulation the frequency of the carrier signal is varied with the modulating signal.

تضمين التردد: في هذا النمط من التضمين يتغير تردد إشارة الموجة الحاملة مع إشارة التضمين.

Phase Modulation: In this type of modulation the phase of the carrier signal is varied with the modulating signal. It is the variant of the frequency modulation.

تضمين الطور: في هذا النمط من الضمين تتغير طور إشارة الموجة الحاملة مع إشارة التضمين. وهو البديل من تضمين التردد.

Note: The analog carrier signal is modulated by digital information signal. It is also considered as digital to analog conversion.

ملاحظة: يتم تضمين إشارة الناقل التناظرية بواسطة إشارة المعلومات الرقمية. ويعتبر أيضا تحويل رقمي إلى التناظرية.

11.5.2 Digital Modulation

2.5.11 التضمين الرقمي

Digital modulation means an analog signal of carrier is converted by a digital data bit stream.

ويعني التضمين الرقمي الإشارة التماثلية للموجة الحاملة بواسطة تيار من بتات البيانات الرقمية.

There are two types of bits in binary:

هناك نوعان من البتات في الثنائي:

1- **Logic 0 (low)**
2- **Logic 1 (High).**

1- **منطق 0 (منخفض).**
2- **منطق 1 (مرتفع).**

This method is use to convert digital signal to analog and the responding demodulating is applied to convert analog signal to digital signal. Here the analog signal bearing information is transmitted by the digital method.

استخدام هذا الأسلوب لتحويل الإشارات الرقمية إلى التناظرية ويتم تطبيق إزالة تضمين الاستجابة لتحويل الإشارة التناظرية إلى إشارة رقمية. هنا تنتقل المعلومات التي تحمل الإشارة التناظرية بواسطة الطريقة الرقمية.

There are four types of Digital modulation which are as below:

هناك أربعة أنواع من التضمين الرقمي التي هي على النحو التالي:

1- Pulse code Modulation
2- Differential Pulse code Modulation
3- Delta Modulation
4- Adaptive delta Modulation.

1- تضمين رمز النبضة.
2- تضمين رمز النبضة التفاضلي.
3- تضمين دلتا.
4- تضمين دلتا المتناسق.

Pulse Modulation

تضمين النبضة

The Pulse wave modulation is a process of sampling of the continuous wave at periodic intervals and transmitting a very short pulse of radio frequency

وتضمين موجة النبضة هو عملية أخذ عينات من الموجة المستمرة على فترات دورية وإرسال نبضة قصيرة جدا من الموجة الحاملة للتردد الراديوي لكل عينة، مع اختلاف خصائص النبضة بطريقة تتناسب مع

carrier for each sample, with the pulse characteristics being varied in some manner proportional to the signal amplitude at the sampling instant.

اتساع الإشارة في لحظة أخذ العينات.

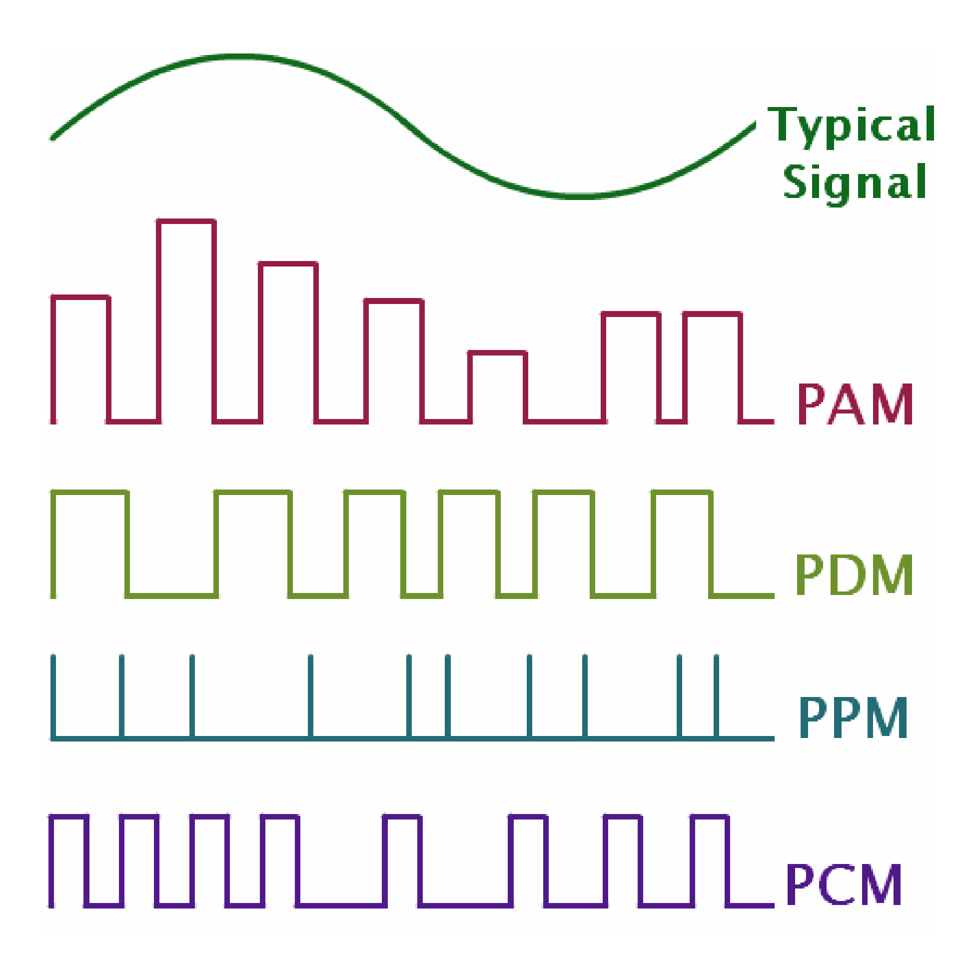


Figure 11.7: Illustrates pulse wave modulation.

The Pulse wave modulation are of four types namely:
1-Pulse amplitude Modulation
2-Pulse position Modulation
3-Pulse width Modulation
4-Pulse code Modulation.

ويكون تضمين موجة النبضة من أربعة أنماط هي:
1- تضمين سعة النبضة.
2- تضمين موقع النبضة.
3- تضمين عرض النبضة.
4- تضمين رمز النبضة.

11.6 Non-Sinusoidal Modulation

6.11 تضمين الزاوية الغير جيبية

A sine wave at one frequency can be separated from a sine wave at another frequency (or a cosine wave at the same frequency) because the two signals are "orthogonal".

ويمكن فصل موجة جيبية بتردد واحد من موجة جيبية عند تردد آخر (أو موجة جيب التمام في نفس التردد) لأن الإشارة هما "متعامدان".

There are other sets of signals, such that every signal in the set is orthogonal to every other signal in the set.

وهناك مجموعات أخرى من الإشارات، بحيث تكون كل إشارة في المجموعة متعامدة مع كل إشارة أخرى في المجموعة.

A simple orthogonal set is time multiplexed division (TDM) -- only one transmitter is active at any one time.

مجموعة متعامدة بسيطة هي تقسيم الوقت المتعدد الإرسال (TDM) - مرسل واحد فقط نشط في أي وقت واحد.

Other more complicated sets of orthogonal waveforms—Walsh codes and various pseudo-noise codes such as Gold codes and maximum length sequences—are also used in some communication systems.

وتستخدم أيضا في بعض أنظمة الاتصالات مجموعات أكثر تعقيدا أخرى من أشكال الموجات المتعامدة - وتستخدم أيضا رموز والش ومختلف الرموز شبه الزائفة مثل رموز الذهب وأقصى تسلسل طول - في بعض نظم الاتصالات.

The process of combining these waveforms with data signals is sometimes called "modulation", because it is so very similar to the way modulation combines sine waves with data signals.

وتسمى عملية الجمع بين هذه الأشكال الموجية بإشارات البيانات أحيانا "التضمين"، لأنها تشبه إلى حد كبير طريقة تضمين الموجات الجيبية مع إشارات البيانات.

11.7 Modulator and Detector Principles of Operation

1-Group the incoming data bits into codewords, one for each symbol that will be transmitted.

2-Map the codewords to attributes, for example amplitudes of the I and Q signals (the equivalent low pass signal), or frequency or phase values.

3-Adapt pulse shaping or some other filtering to limit the bandwidth and form the spectrum of the equivalent low pass signal, typically using digital signal processing.

4-Perform digital to analog conversion (DAC) of the I and Q signals (since today all of the above is normally achieved using digital signal processing, DSP).

5-Generate a high frequency sine carrier waveform, and perhaps also a cosine quadrature component. Carry out the modulation, for example by multiplying the sine and cosine waveform with the I and Q signals, resulting in the equivalent low pass signal being frequency shifted to the modulated passband

7.11 المضمن ومبادئ عمل الكاشف

1-تجميع بتات البيانات الواردة الى كلمات الشفرة، واحدة لكل رمز والتي سوف يتم إرسالها.

2 - قم بتعيين كلمات الشفرة إلى رمز، مثل اتساع إشارات I و Q (إشارة مرور منخفضة مكافئة)، أو قيم تردد أو طور.

3 - تكييف تشكيل النبضة أو بعض التصفية الأخرى للحد من عرض النطاق وتشكيل طيف إشارة التمرير المنخفضة المكافئة، التي تستخدم عادة معالجة الإشارات الرقمية.

4-إجراء التحويل الرقمي إلى التناظرية (DAC) من إشارات I و Q (منذ اليوم كل ما سبق يتحقق عادة باستخدام معالجة الإشارات الرقمية، DSP).

5-توليد تردد عالي جيب الموجي الناقل، وربما أيضا مكون التربيع جيب التمام. قم بإجراء التضمين، على سبيل المثال عن طريق ضرب الموجة الجيبية وجيب التمام مع إشارات I و Q، مما أدى إلى إشارة تمرير منخفضة مكافئة يجري تحويل تردد إلى إشارة التمرير أو إشارة RF للتضمين. وفي بعض الأحيان يتحقق ذلك باستخدام تكنولوجيا DSP ، على سبيل المثال التوليد الرقمي المباشر باستخدام جدول الموجة، بدلا

signal or RF signal. Sometimes this is achieved using DSP technology, for example direct digital synthesis using a waveform table, instead of analog signal processing. In that case the above DAC step should be done after this step.

من معالجة الإشارات التناظرية. في هذه الحالة يجب أن يتم الخطوة DAC أعلاه بعد هذه الخطوة.

6-Amplification and analog bandpass filtering to avoid harmonic distortion and periodic spectrum

6-التضخيم والتناظرية ممر تصفية الموجة لتجنب التشويه التوافقي والطيف الدوري

11.8 Demodulation — 8.11 ازالة التضمين

Demodulation is the process of recovering the signal intelligence from a modulated carrier wave. This process also called detection is the reverse process of modulation.

وعملية إزالة التضمين هي عملية استعادة معلومات الاشارة من الموجة الحاملة المتضمنة. وهذه العملية التي تعرف أيضا بالكشف هي العملية العكسية للتضمين.

In Demodulation, we retrieve the message content from the modulated high frequency carrier. After the demodulation process the output quality may be reduced due to various parameters of channel and noise. To reduce the errors and enhance the efficiency we use various methods of modulation and demodulation.

في عملية إزالة التضمين، نقوم باسترجاع محتوى الرسالة من الموجة الحاملة ذات التردد العالي. وبعد عملية إزالة التضمين يمكن خفض جودة المخرجات بسبب المقاييس المختلفة للقناة والضوضاء. لتقليل الأخطاء وتعزيز الكفاءة نستخدم أساليب مختلفة للضمين وإزالة التضمين.

At the receiver side, the demodulator typically performs:

وعلى جانب المستقبل، يقوم مزيل التضمين عادة بما يلي:

1-Bandpass filtering.

1- تصفية الموجة.

2-Automatic gain control, AGC (to compensate for attenuation, for example fading).

2- التحكم التلقائي في الكسب، AGC (للتعويض عن التوهين، على سبيل المثال المنخفضة).

3-Frequency shifting of the RF signal to the equivalent baseband I and Q signals, or to an intermediate frequency (IF) signal, by multiplying the RF signal with a local oscillator sinewave and cosine wave frequency.

3- تحويل تردد إشارة التردد الراديوي RF إلى إشارات القاعدي I و Q المكافئة أو إشارة تردد وسيطة (IF)، عن طريق ضرب إشارة التردد الراديوي RF مع تردد الموجة الحاملة للمذبذب الموضعي وتردد جيب التمام.

4-Sampling and analog-to-digital conversion (ADC) (Sometimes before or instead of the above point, for example by means of undersampling).

4- أخذ العينات والتحويل التناظري إلى الرقمي (ADC) (في بعض الأحيان قبل أو بدلا من النقطة أعلاه، على سبيل المثال عن طريق اخذ العينات).

5-Equalization filtering, for example a matched filter, compensation for multipath propagation, time spreading, phase distortion and frequency selective fading, and symbol distortion.

5- مرشحات التسوية، على سبيل المثال تطابق المرشحات ، والتعويض عن الانتشار المتعددة، الانتشار الزمني ، وتشوه الطور، وتضائل التردد المختار ، وتشوية الرموز.

6-Detection of the amplitudes of the I and Q signals, or the frequency or phase of the IF signal.

6- الكشف عن اتساع إشارات I و Q، أو تردد أو طور إشارة IF.

7-Quantization of the amplitudes, frequencies or phases to the

7- تحديد حجم الاتساع والترددات أو الطور إلى أقرب قيم رمزا مسموح

nearest allowed symbol values.

بها.

8-Mapping of the quantized amplitudes, frequencies or phases to codewords (bit groups).

8- رسم خرائط الاتساع الكمي، والترددات أو الطور إلى كلمات الشفرة (مجموعات بت).

9-Parallel-to-serial conversion of the codewords into a bit stream.

9- التحويل المتوازي إلى التسلسلي لكلمات المشفرة إلى تيار من البتات.

10-Pass the resultant bit stream on for further processing such as removal of any error-correcting codes.

10- قم بتمرير تيار البتات الناتج لمعالجة إضافية مثل إزالة أي رموز تصحيح الأخطاء.

As is common to all digital communication systems, the design of both the modulator and demodulator must be done simultaneously. Digital modulation schemes are possible because the transmitter-receiver pair have prior knowledge of how data is encoded and represented in the communications system. In all digital communication systems, both the modulator at the transmitter and the demodulator at the receiver are structured so that they perform inverse operations.

وكما هو شائع في جميع أنظمة الاتصالات الرقمية، يجب أن يتم تصميم كل من المضمن ومزيل المضمن في نفس الوقت. وتستطيع مخططات التشكيل الرقمي أن يكون لدى زوج المستقبل المرسل معرفة مسبقة بكيفية تشفير البيانات وتمثيلها في نظام الاتصالات. وفي جميع أنظمة الاتصالات الرقمية، يكون كل من المضمن في المرسل ومزيل المضمن في المستقبل منظم بحيث يؤديان عمليات عكسية.

11.9 Optical Fiber Amplifier

9.11 مضخم الألياف البصرية

Definition - What does Optical Fiber Amplifier mean?

تعريف - ماذا يعني "مضخم الألياف البصرية "؟

An optical fiber amplifier is a fiber optic device used to amplify optical signals directly without conversion into electrical signals. Optical fiber transmission has revolutionized networking and communication systems.

مضخم الألياف الضوئية هو جهاز الألياف البصرية المستخدمة لتضخيم الإشارات الضوئية مباشرة دون تحويلها إلى إشارات كهربائية. وقد أحدثت عملية نقل الألياف الضوئية ثورة في أنظمة الشبكات والاتصالات.

Multiple communication devices, like optical transmitters and receivers, are used in optical fiber transmission systems.

وفي أنظمة إرسال الاشارة داخل الألياف الضوئية تستخدم أجهزة الاتصالات المتعددة، مثل أجهزة الإرسال والاستقبال الضوئية.

An optical fiber amplifier is used in transmitting data in fiber optic communication systems.

ويستخدم مكبر الألياف البصرية في نقل البيانات في أنظمة الاتصالات الألياف البصرية.

Amplifiers are inserted at specific places to boost optical signals in a system where the signals are weak.

يتم إدخال مكبرات الصوت في أماكن محددة لتعزيز الإشارات الضوئية في النظام حيث الإشارات ضعيفة.

This boost allows the signals to be successfully transmitted through the remaining cable length.

هذه الزيادة تسمح للإشارات أن تنتقل بنجاح من خلال طول الكابل المتبقي.

In large networks, a long series of optical fiber amplifiers are placed in a sequence along the entire network link.

وفي الشبكات الكبيرة، توضع سلسلة طويلة من مضخمات الألياف الضوئية في تتابع على طول وصلة الشبكة بأكملها.

Techopedia explains Optical Fiber Amplifier

The first optical fiber amplifier, called an erbium-doped fiber amplifier (EDFA), was invented in the late 1980s.

An optical fiber amplifier consists of a low single mode fiber made of silica glass. A coupling pump light generates length gain at both fiber ends or in between locations.

Optical fiber amplifiers are categorized, based upon different physical mechanisms, as follows:

1-Doped fiber amplifiers (DFA): Use a doped optical fiber medium for boosting signals in a similar manner to fiber lasers.

The signal requiring amplification, along with a pump laser, is multiplexed in a doped fiber medium and intersects with doping ions.

Amplified spontaneous emission is the major reason behind the DFA noise.

An ideal noise level for DFA is around 3 decibels. Practically, the noise figure is calculated at around 6 to 8 decibels.

2-Semiconductor optical amplifiers: Use semiconductors to

يوضح Techopedia التكبير في الألياف البصرية

تم اختراع أول مكبر للألياف الضوئية، والذي يسمى مكبر الألياف إربيوم المشوبة (EDFA)، في أواخر 1980م.

يتكون مكبر الألياف البصرية من الألياف ذات النمط الواحد المنخفض المصنوعة من زجاج السيليكا. ويؤدي ضوء مضخة الاقتران إلى توليد مكاسب على امتداد بين كلا طرفي الألياف أو بين المواقع.

وتصنف مضخمات الألياف الضوئية، استنادا إلى آليات مادية مختلفة، على النحو التالي:

1-مكبرات الألياف المشوبة (DFA): استخدام تشويب الألياف البصرية المتوسط لتعزيز الإشارات بطريقة مماثلة لألياف الليزر.

يتم مضاعفة الإشارة التي تتطلب التضخيم، جنبا إلى جنب مع مضخة الليزر، التعدد في في وسط الألياف المشوبة يتقاطع مع أيونات التشويب.

تضخيم الانبعاثات التلقائي هو السبب الرئيسي وراء الضوضاء (DFA).

مستوى الضوضاء المثالي لـ (DFA) حوالي 3 ديسيبل. وعمليا، يتم احتساب رقم الضوضاء حوالي من 6 إلى 8 ديسيبل.

2-مكبرات أشباه الموصلات الضوئية: استخدام أشباه الموصلات لإنتاج وسط كسب

produce the gain medium in the laser.

في الليزر.

The analogous structure is made of laser diodes.

ويتكون الهيكل التماثلي من الثنائيات الليزر.

The recent design of semiconductor optical amplifiers has added antireflective coatings and window regions to minimize the end face reflection.

وقد أضاف التصميم الحديث للمكبرات الضوئية شبه الموصلات الطلاءات المضادة للانعكاس ومناطق النوافذ لتقليل انعكاس السطح النهائي.

3-Raman amplifiers: Employ Raman amplification techniques to boost optical signals.

3- مكبرات رامان: استخدام تقنيات التضخيم رامان لتعزيز الإشارات الضوئية.

The two types of Raman amplifiers are distributed, where the transmission fiber is used by multiplexing the pump wavelength along with the signal wavelength as the gain medium, and lumped, where short length and dedicated fibers are used for amplification.

يتم توزيع نوعين من مكبرات رامان، حيث يتم استخدام ألياف الإرسال عن طريق تعدد طول موجة الضخ جنبا إلى جنب مع الطول الموجي للإشارة كوسيط الكسب ، والجمع، حيث يستخدم طول قصير والألياف مخصصة للتضخيم.

Nonlinear fiber is used to increase the intersection between the pump wavelength and the signal to reduce the fiber to the required length.

وتستخدم الألياف غير الخطية لزيادة التقاطع بين الطول الموجي للضخ والإشارة إلى خفض الألياف إلى الطول المطلوب.

4- Optical parametric amplifiers: Permit the amplification of weak signal impulses to a nonlinear optic medium.

4- مضخمات الإعدادات البصرية: السماح لتضخيم النبضات الاشارة الضعيفة إلى وسط البصري غير الخطية.

They use non-collinear interaction geometry for broader bandwidth amplifications.

وهي تستخدم هندسة التفاعل غير الخطية لتضخيم النطاق الترددي الأوسع.

Chapter 12

Optical Fiber Manufacturing

12 Process of Optical Fiber Manufacturing

12 عملية تصنيع الألياف البصرية

12.1 Introduction

1.12 المقدمة

Optical fiber is a single, hair fine filament drawn from molten silca glass. Today, it has replaced metal wires in high speed communication.

الألياف البصرية تتميز بأنها خيوط رفيعة جدا مسحوبة من منصهر زجاج السيلكا. وقد حلت اليوم محل الأسلاك المعدنية في الاتصالات عالية السرعة.

In a fiber optic communications system, cables made of optical fibers connect datalinks that contain lasers and light detectors. To transmit information, a datalink converts an analog electronic signal into digital pulses of laser light.

وفي نظام اتصالات الألياف البصرية، يتم توصيل الكابلات المصنوعة من الألياف الضوئية لموائم البيانات التي تحتوي على أشعة الليزر وأجهزة الكاشف الضوئي. ولتحويل المعلومات، يحول موائم البيانات الإشارة إلألكترونية التناظرية إلى نبضات رقمية لضوء الليزر.

These travel through the optical fiber to another datalink, where a light detector reconverts them into an electronic signal.

هذه المسير عبر الألياف البصرية من وصلات بيانات الى آخرى، حيث الكاشف الضوئي يعيد الإشارة إلالكترونية.

It makes people to wonder how something only 1/8 of a mm - 0.005 inches - in diameter can be made with such precision. So here is brief explanation of how optical fiber is made.

وهذا يجعل الشخص يتساءل كيف يكون شيء فقط قطره 1/8 من مم - 0.005 انج - يمكن أن يتم مع هذه الدقة. هنا سوف يتم شرح نبذه مختصرة لكيفية تصنيع الألياف الضوئية.

12.2 Manufacturing

2.12 التصنيع

How are Optical Fiber's made??

كيف يتم صنع الألياف البصرية؟؟

The main steps in the manufacturing process:

الخطوات الرئيسية في عملية التصنيع:

1-Making a Preform Glass Cylinder

2-Drawing the Fiber's from the preform

3-Testing the Fiber

1- صنع اسطوانة الزجاج المشكلة.

2-تصميم الألياف من التشكيل.

3- اختبار الألياف.

12.3 Fiber Materials

3.12 مواد الألياف

Requirements of Fiber Optic Material

متطلبات المواد للألياف البصرية

1. The material must be transparent for efficient transmission of light.

.1 يجب أن تكون المواد شفافة للإنتقال الفعال للضوء.

2. It must be possible to draw long thin fibers from the material.

.2 يجب أن يكون من الممكن سحب ألياف رقيقة طويلة من المواد.

3. Fiber material must be compatible with the cladding material.

.3 يجب أن تكون مواد الألياف متوافقة مع مواد الكسوة.

Glass and plastics fulfills these requirements.

الزجاج والبلاستيك يحقق هذه المتطلبات.

• Most fiber consists of silica (SiO_2) or silicate. Various types of high loss and low loss glass fibers are available to suit the requirements. Plastic fibers are not popular because of high attenuation they have better mechanical strength.

• معظم الألياف تتكون من السيليكا (SiO_2) أو سيليكات. أنواع مختلفة من الألياف الزجاجية المتاحة لتتناسب مع متطلبات الفقدان العالي والفقدان الواطىء. الألياف البلاستيكية ليست شائعة بسبب لديها توهين عالي ولها قوة ميكانيكية أفضل.

12.4 Glass Fibers 4.12 الألياف الزجاجية

• Glass is made by fusing mixtures of metal oxides having refractive index of 1.458 at 850 nm. For changing the refractive index different oxides such as B_2O_3, GeO_2 and P_2O_5 are added as dopants. Fig. 12.1 shows variation of refractive index with doping concentration.

• يتم تصنيع الزجاج من خلال دمج خليط من أكاسيد المعادن التي لها معامل انكسار قدره 1.458 عند 850 نانومتر. لتغيير معامل أنكسار أكاسيد مختلفة مثل B_2O_3، يتم إضافة GeO_2 و P_2O_5 بالترسيب. الشكل 1.12 يبين تباين معامل الانكسار مع تركيز الشوائب.

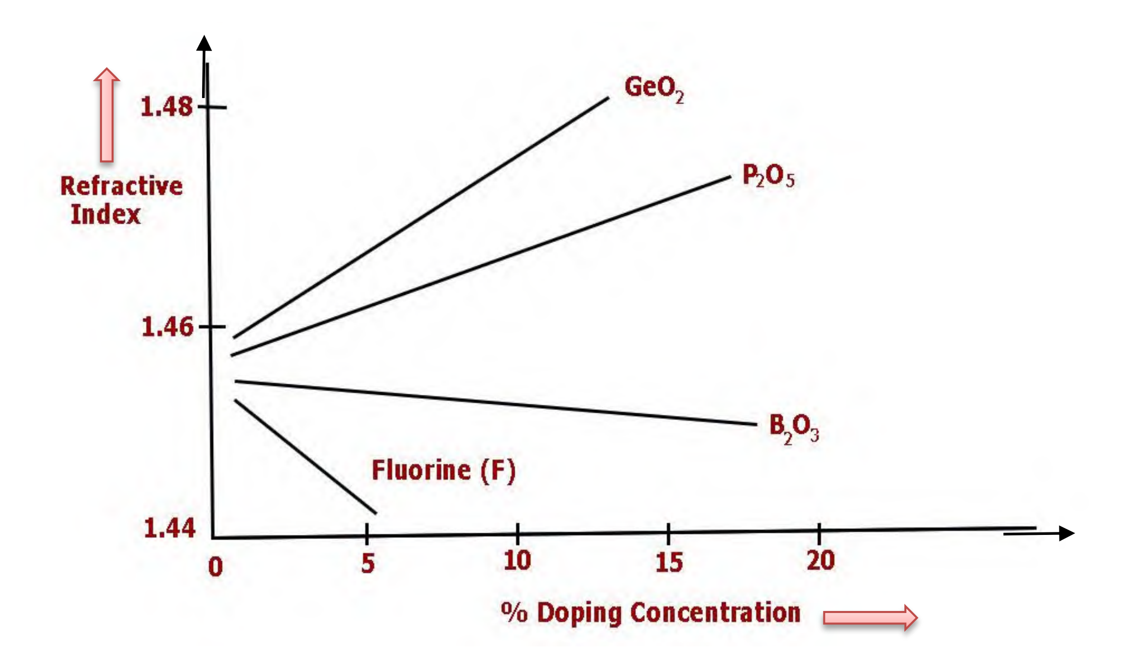


Figure 12.1: Variation of Refractive Index with Doping Concentration.

• Fig 12.1 shows addition of dopants GeO_2 and P_2O_5 increases refractive index, while dopants Fluorine (F) and B_2O_3 decreases refractive index. One important criteria is that the refractive index of core is greater than that of the cladding, hence some important.

• الشكل 1.12 يبين إضافة التشويب GeO_2 و P_2O_5 يزيد من معامل الانكسار، بينما تشويب الفلور (F) و B_2O_3 يقلل معامل الانكسار. أحد المعايير الهامة هو أن معامل الانكسار اللب أكبر من معامل انكسار الكسوة، وهو المهم.

Table 12.1: Shows the core and cladding components of some types of fiber.

Composition	Core	Cladding
1	$GeO_2 - SiO_2$	SiO_2
2	$P_2O_5 - SiO_2$	SiO_2
3	SiO_2	$B_2O_3 - SiO_2$
4	$GeO_2 - B_2O_3 - SiO_2$	$B_2O_3 - SiO_2$

Compositions are used such as: **يتم استخدام المركبات مثل:**

- The principal raw material for silica is sand and glass. The fiber composed of pure silica is called as silica glass. The desirable properties of silica glass are:

المواد الخام الرئيسية للسيليكا هي الرمال والزجاج. والألياف عادةً تتكون من السيليكا النقي وزجاج السيليكا. ونحدد الخصائص المرغوبة لزجاج السيليكا هي:

1- Resistance to deformation even at high temperature.

1- مقاومة التشوه حتى في درجة حرارة عالية.

2- Resistance to breakage from thermal shocks (low thermal expansion).

2- مقاومة للكسر من الصدمات الحرارية (انخفاض التمدد الحراري).

3- Good chemical durability.

3- له مقاومه عالية ضد المواد الكيميائية.

4- Better transparency.

4- شفافية أفضل.

- **Other types of glass fibers are:** • **وهناك أنواع أخرى من ألياف الزجاج هي:**

- Halide glass fibers. - ألياف زجاج الهاليدات.
- Active glass fibers. - ألياف الزجاجية الفعاله.
- Chalcogenide glass fibers. - الألياف الزجاجية تشالكوجينيد.
- Plastic optical fibers. - الألياف البصرية البلاستيكية.

12.5 Materials المواد 5.12

Glass optical fibers are almost always made from silica, but some other materials, such as

الألياف البصرية الزجاجية هي دائما مصنوعة من السيليكا، ولكن هناك بعض المواد الأخرى، مثل فلوروزيركونيت،

fluorozirconate, fluoroaluminate, and chalcogenide glasses as well as crystalline materials like sapphire, are used for longer-wavelength infrared or other specialized applications.

فلوروالومينات، والزجاج تشالكوجينيد وكذلك المواد البلورية مثل الياقوت، وتستخدم للأشعة تحت الحمراء للأطوال الموجية الطويلة أو التطبيقات المتخصصة الأخرى.

Silica and fluoride glasses usually have refractive indices of about 1.5, but some materials such as the chalcogenides can have indices as high as 3.

وعادة ما يكون لدى السيليكا وزجاج الفلورايد معامل انكسار حوالي 1.5، ولكن بعض المواد مثل زجاج تشالكوجينيد يمكن أن يكون معامل انكسار يصل إلى 3.

Typically the index difference between core and cladding is less than one percent.

وعادة ما يكون الفرق بين اللب الأساسي والكسوة أقل من واحد في المائة.

Plastic optical fibers (POF) are commonly step-index multi-mode fibers with a core diameter of 0.5 millimeters or larger. POF typically have higher attenuation coefficients than glass fibers, 1 dB/m or higher, and this high attenuation limits the range of POF-based systems.

الألياف البصرية البلاستيكية (POF) هي عادة الالياف ذات النمط المتعدد لمؤشر الخطوة مع قطرها الأساسي من 0.5 ملم أو أكبر. وعادة ما يكون للموجات فوق البنفسجية معاملات توهين أعلى من الألياف الزجاجية، 1ديسيبل/متر أو أعلى، وهذا التوهين العالي يحد من نطاق الأنظمة القائمة في الالياف البصرية البلاستيكية.

12.6 Silica

6.12 السيليكا

Why prefer silica in the manufacture of fiber optics.

لماذا تفضل السيليكا في تصنيع الالياف البصرية.

1- Silica exhibits fairly good optical transmission over a wide range of wavelengths. In the near-infrared (near IR) portion of the spectrum, particularly around 1.5 µm.

1- يظهر السيليكا انتقال بصري جيد إلى حدما على مدى واسع من الأطوال الموجية. في الجزء القريب من الأشعة تحت الحمراء (بالقرب من الأشعة تحت الحمراء) من الطيف، ولا سيما حوالي 1.5 ميكرون.

2- Silica can have extremely low absorption**.**

2- السيليكا له امتصاص منخفض للغاية.

3- Scattering losses of the order of 0.2 dB/km. Such remarkably low losses are possible only**.**

3- خسائر التشتت ممكن ان تكون بمقدار 0.2 ديسيبل / كم. وهي خسائر منخفضة بشكل ملحوظ.

4- Ultra-pure silicon is available.

4- السيليكون مادة متوفرة وفائقة النقاء.

5- It being essential for manufacturing integrated circuits.

5- كونها ضرورية لتصنيع الدوائر المتكاملة.

6- Discrete transistors. A high transparency in the 1.4-µm region is achieved by maintaining a low concentration of hydroxyl groups (OH). Alternatively, a high OH concentration is better for transmission in the ultraviolet (UV) region.

6- الترانزستورات المنفصلة. يتم تحقيق شفافية عالية في المنطقة 1.4 ميكرون من خلال الحفاظ على تركيز منخفض من مجموعات الهيدروكسيل (OH). بدلا من ذلك، تركيز عالية لـ(OH) هو أفضل لنقلها الى داخل المنطقة فوق البنفسجية (UV).

7- Silica can be drawn into fibers at reasonably high temperatures, and has a fairly broad glass transformation range.

7- يمكن ان تعمل السيليكا في الألياف التي تتعرض الى درجات حرارة عالية بشكل معقول،لان لها نطاق واسع إلى حد ما.

8- One other advantage is that fusion splicing and cleaving of silica fibers is relatively effective.

8- ميزة أخرى هي أن ربط واندماج والتصاق ألياف السيليكا فعال نسبيا.

9- Silica fiber also has high mechanical strength against both pulling and even bending, provided that the fiber is not too thick and that the surfaces have been well prepared during processing.

9- ألياف السيليكا لديها أيضا قوة ميكانيكية عالية ضد كل من السحب وحتى الانحناء، شريطة أن الألياف ليست سميكة جدا وأن ألسطح الخارجي للألياف قد أعد جيدا أثناء المعالجة.

10- Even simple cleaving

10-حتى التشقق البسيط (الكسر) في نهايات

(breaking) of the ends of the fiber can provide nicely flat surfaces with acceptable optical quality.

الألياف يمكن أن توفر أسطح مسطحة ملساء بشكل جيد مع جودة بصرية مقبولة.

11- Silica is also relatively chemically inert

11- السيليكا هي أيضا خاملة كيميائيا نسبيا.

12- In particular, it is not hygroscopic (does not absorb water(Silica exhibits fairly good optical transmission over a wide range of wavelengths.

12- وعلى وجه الخصوص فأن السيليكا، ليس استرطابي (أي لا تمتص الماء) السيليكا له خاصية انتقال بصري جيد إلى حد ما، ويعمل على مجموعة واسعة من الأطوال الموجية.

Silica glass can be doped with various materials. One purpose of doping is to raise the refractive index (e.g. with germanium dioxide (GeO_2) or aluminium oxide (Al_2O_3)) or to lower it (e.g. with fluorine or boron trioxide (B_2O_3)).

زجاج السيليكا يمكن ان يشوب مع مواد مختلفة. ويتمثل أحد فوائد الشوائب هي رفع معامل الانكسار (على سبيل المثال مع ثاني أكسيد الجرمانيوم (GeO_2) أو أكسيد الألومنيوم ((Al_2O_3)) أو خفضه (على سبيل المثال مع ثالث أكسيد الفلور أو البورون ((B_2O_3)).

Doping is also possible with laser-active ions (for example, rare earth-doped fibers) in order to obtain active fibers to be used, for example, in fiber amplifiers or laser applications.

ومن الممكن أيضا وضع الشوائب مع أيونات ليزر نشطة (على سبيل المثال، ألياف شوائب نادرة) من أجل الحصول على ألياف نشطة لاستخدامها، على سبيل المثال، في مكبرات الألياف أو تطبيقات الليزر.

Both the fiber core and cladding are typically doped, so that the entire assembly (core and cladding) is effectively the same compound (e.g. an aluminosilicate, germanosilicate, phosphosilicate or borosilicate glass).

كل من لب الألياف والكسوة هي عادة تحوي شوائب، بحيث المركب بأكملها (الأساسية والكسوة) هو على نحو فعال نفس المركب (على سبيل المثال، ألومينوسيليكات، جيرمانوسيليكات، فسفوسيليكات أو البورسليكات الزجاج).

Particularly for active fibers, pure

خاصة بالنسبة للألياف الفعالة، السيليكا النقي

silica is usually not a very suitable host glass, because it exhibits a low solubility for rare earth ions.

هو عادة ليست ملائمة جدا بالنسبة للزجاج المضيف، لأنه يحمل ذوبان منخفضة للأيونات الأرضية النادرة.

This can lead to quenching effects due to clustering of dopant ions. Aluminosilicates are much more effective in this respect.

هذا يمكن أن يؤدي إلى تقليل الآثار بسبب تجميع أيونات الترسيب. ألومينوسيليكاتس وهي أكثر فعالية بكثير في هذا الصدد.

Silica fiber also exhibits a high threshold for optical damage. This property ensures a low tendency for laser-induced breakdown.

ألياف السيليكا أيضا يحمل عتبة عالية للضرر البصري. هذه الخاصية تضمن قابلية منخفضة للانهيار الناجم عن الليزر.

This is important for fiber amplifiers when utilized for the amplification of short pulses.

ويعتبرهذا مهم للمكبرات في الألياف عندما تستخدم لتضخيم النبضات القصيرة.

Because of these properties silica fibers are the material of choice in many optical applications, such as communications (except for very short distances with plastic optical fiber), fiber lasers, fiber amplifiers, and fiber-optic sensors. Large efforts put forth in the development of various types of silica fibers have further increased the performance of such fibers over other materials.

وبسبب هذه الخصائص فإن ألياف السيليكا هي المادة المفضلة في العديد من التطبيقات البصرية مثل الاتصالات (باستثناء المسافات قصيرة جدا التي تستخدم فيها الألياف البصرية البلاستيكية)، والألياف الليزرية، ومكبرات الألياف، وأجهزة استشعار الألياف البصرية.
جهود كبيرة وضعت في تطوير أنواع مختلفة من ألياف السيليكا زادت من أداء هذه الألياف على مواد أخرى.

12.7 Fluoride Glass

7.12 زجاج الفلوارايد

1-Fluoride glass is a class of non-oxide optical quality glasses composed of fluorides of various metals.

1-زجاج الفلوارايد هو من فئة الزجاج ذو الجودة البصرية العالية غير المؤكسد وتتألف الفلوريدات من معادن مختلفة.

2-Because of their low viscosity, it is very difficult to completely avoid crystallization while processing it through the glass transition (or drawing the fiber from the melt).

2-بسبب اللزوجة المنخفضة، فمن الصعب جدا تجنب التبلور تماما أثناء معالجته من خلال تحول الزجاج (او عملية تصنيع الالياف بالذوبان).

3- Thus, although heavy metal fluoride glasses (HMFG) exhibit very low optical attenuation, they are not only difficult to manufacture, but are quite fragile, and have poor resistance to moisture and other environmental attacks.

3- بالرغم من أن زجاج الفلوارايد الفلزية الثقيلة (HMFG) يظهر توهيناً بصرياً منخفضاً جداً، فإنها ليست صعبة التصنيع فحسب، بل هي أيضا هشة جدا، وله مقاومة ضعيفة للرطوبة والتغيرات البيئية الأخرى.

4- Their best attribute is that they lack the absorption band associated with the hydroxyl (OH) group (3,200–3,600 cm^{-1}; i.e., 2,777–3,125 nm or 2.78–3.13 µm), which is present in nearly all oxide-based glasses.

4 - أفضل سماتها هي أنها تفتقر إلى نطاق الامتصاص المرتبط بمجموعة الهيدروكسيل (OH) (3,600 –3,200 cm^{-1} ; i.e., (2,777–3,125 nm or 2.78–3.13 µm وهي موجودة تقريبا في جميع العدسات القائمة على الأكسيد.

5- An example of a heavy metal fluoride glass is the ZBLAN glass group, composed of zirconium, barium, lanthanum, aluminium, and sodium fluorides. Their main technological application is as optical waveguides in both planar

5- مثال على زجاج الفلوريد المعدني الثقيل هو مجموعة زجاج (ZBLAN) المكونة من الزركونيوم والباريوم واللانثانوم والألومنيوم وفلوريد الصوديوم. تطبيقها التكنولوجي الرئيسي هو الدليل الموجي البصرية في كل من المستوي وشكل الألياف.

and fiber form.

6- They are advantageous especially in the mid-infrared (2,000–5,000 nm) range.

6- فهي مفيدة خصوصا في التطبيقات وخاصة عند مدى منتصف الأشعة تحت الحمراء (2,000-5,000 نانومتر).

7- HMFGs were initially slated for optical fiber applications, because the intrinsic losses of a mid-IR fiber could in principle be lower than those of silica fibers, which are transparent only up to about 2 µm.

7- كان من المقرر مبدئيا أن تكون مركبات الـ (HMFGs) لتطبيقات الألياف الضوئية، لأن الخسائر الجوهرية لألياف منتصف الأشعة تحت الحمراء يمكن أن تكون أقل من حيث المبدأ من ألياف السيليكا التي تكون شفافة تصل إلى حوالي 2 ميكرون فقط.

However, such low losses were never realized in practice, and the fragility and high cost of fluoride fibers made them less than ideal as primary candidates. Later, the utility of fluoride fibers for various other applications was discovered.

ومع ذلك، لم تتحقق مثل هذه الخسائر المنخفضة في الممارسة العملية (اثناء العمل)، وهشاشة وتكلفة عالية من ألياف الفلوررايد جعلها أقل مثالية من المادة الأولية (السيليكا). وفي وقت لاحق، تم اكتشاف فائدة ألياف الفلوريد لمختلف التطبيقات الأخرى.

These include mid-IR spectroscopy, fiber optic sensors, thermometry, and imaging.

وتشمل هذا الطيف في منتصف الأشعة تحت الحمراء، وأجهزة استشعار الألياف البصرية والحرارة والتصوير.

Also, fluoride fibers can be used for guided lightwave transmission in media such as YAG (yttrium aluminium garnet) lasers at 2.9 µm, as required for medical applications (e.g. ophthalmology and dentistry).

أيضا، يمكن استخدام ألياف الفلورايد لإرسال الموجات الضوئية الموجهة في وسائل الإعلام مثل ليزر الـ(YAG) (يتريوم الألومنيوم العقيق) في 2.9 ميكرون، كما هو مطلوب للتطبيقات الطبية (على سبيل المثال طب العيون وطب الأسنان).

12.8 Preform

8.12 التشكيل

Illustration of the modified chemical vapor deposition (inside) process

توضيح، المعالجة الداخلية لتعديل ترسيب البخار الكيميائي .

Standard optical fibers are made by first constructing a large-diameter "preform" with a carefully controlled refractive index profile, and then "pulling" the preform to form the long, thin optical fiber.

يتم تصنيع الألياف الضوئية القياسية من خلال بناء أولي "تشكيل" ذات قطر كبير مع المراقبة الدقيقة لمعاينة معامل الانكسار، ثم "سحب" التشكيل لتشكيل الألياف البصرية رقيقة، طويلة.

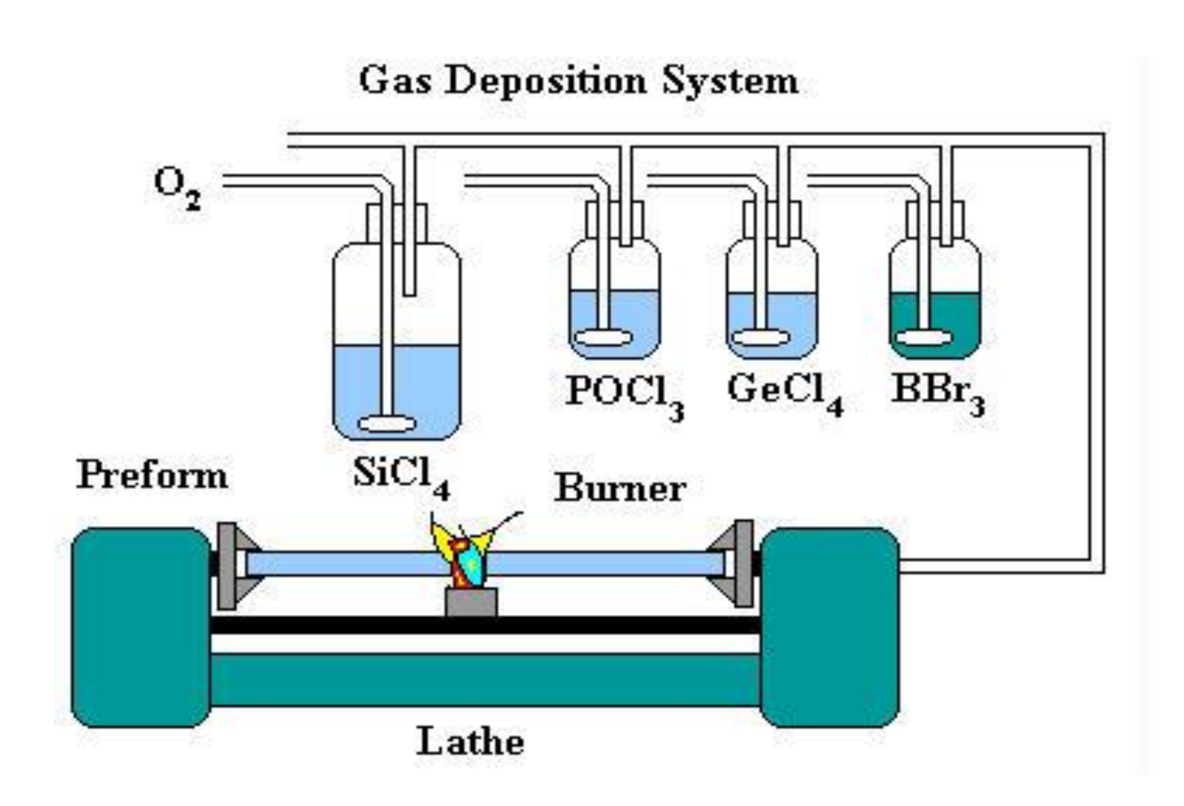


Figure 12.2: Explains the layout of the fiber manufacturing machine.

The preform is commonly made by three chemical vapor deposition methods:
1. Inside vapor deposition.
2. Outside vapor deposition.
3. Vapor axial deposition.

عادة يتكون تصنيع الالياف البصرية من ثلاث طرق لترسيب البخار الكيميائي:
1. ترسيب بخار داخلي.
2. ترسيب بخار خارجي.
3. ترسيب بخار محوري.

With inside vapor deposition, the preform starts as a hollow glass tube approximately 40 centimeters (16 in) long, which is placed horizontally and rotated slowly on a lathe. Gases such as silicon tetrachloride ($SiCl_4$) or germanium tetrachloride ($GeCl_4$) are injected with oxygen in the end of the tube.

مع ترسيب البخار الداخلي، يبدأ تشكيل أنبوب زجاجي جوفاء بطول حوالي 40 سم (16 أنج) ، والتي يتم وضعها أفقيا واستدارة ببطيء على مخرطة. وبعدها يتم حقن الغازات مثل رابع كلوريد السيليكون ($SiCl_4$) أو رباعي كلوريد الجرمانيوم ($GeCl_4$) مع الأكسجين في نهاية الأنبوب.

The gases are then heated by means of an external hydrogen burner, bringing the temperature of the gas up to 1,900 K (1,600 C^O, 3,000 F°), where the tetrachlorides react with oxygen to produce silica or germania (germanium dioxide) particles.

ثم يتم تسخين الغازات عن طريق الموقد الهيدروجيني الخارجي، وبذلك تصل درجة حرارة الغاز إلى 1,900 درجة كلفن (1,600 درجة مئوية، 3,000 درجة فهرنهايت)، حيث تتفاعل رباعي كلوريدات مع الأكسجين لإنتاج جزيئات السيليكا أو الجرمانيوم (ثاني أكسيد الجرمانيوم).

When the reaction conditions are chosen to allow this reaction to occur in the gas phase throughout the tube volume, in contrast to earlier techniques where the reaction occurred only on the glass surface, this technique is called modified chemical vapor deposition (MCVD).

عندما يتم اختيار ظروف التفاعل للسماح لهذا التفاعل في هذه المرحلة لكي يحدث يتم توزيع الغاز في جميع أنحاء حجم أنبوب، وعلى النقيض من التقنيات السابقة حيث يحدث رد فعل فقط على سطح الزجاج، وتسمى هذه التقنية ترسب البخار الكيميائي المعدلة (MCVD).

The oxide particles then agglomerate to form large particle chains, which subsequently deposit on the walls of the tube as soot.

ثم تتكتل جسيمات الأكسيد لتشكيل سلاسل جسيمات كبيرة، ترسب على جدران الأنبوب كالسخام.

The deposition is due to the large difference in temperature between the gas core and the wall causing the gas to push the particles outwards (this is known as thermophoresis).

ويرجع ذلك إلى الفرق الكبير في درجة الحرارة بين جوهر الغاز والجدار مما تسبب في الغاز لدفع الجسيمات إلى الخارج (وهذا ما يعرف باسم الإفراز الحراري).

The torch is then traversed up and down the length of the tube to deposit the material evenly.

ثم يتم اجتياز الشعلة صعودا وهبوطا على طول الأنبوب لترسيب المواد بالتساوي.

After the torch has reached the end of the tube, it is then brought back to the beginning of the tube and the deposited particles are then melted to form a solid layer.

بعد وصول الشعلة الى نهاية الأنبوب، يتم إرجاعها إلى بداية الأنبوب بهذا يتم اذابت الجسيمات المرسبة لتشكيل طبقة صلبة.

This process is repeated until a sufficient amount of material has been deposited.

وتكرر هذه العملية إلى أن يتم ترسيب كمية كافية من المواد على سطح الانبوب.

For each layer the composition can be modified by varying the gas composition, resulting in precise control of the finished fiber's optical properties.

كل طبقة يمكن تعديل تركيبها عن طريق تغيير تركيب الغاز، مما أدى إلى وجود مراقبة دقيقة للخصائص النهائية للالياف البصرية.

In outside vapor deposition or vapor axial deposition, the glass is formed by flame hydrolysis, a reaction in which silicon tetrachloride and germanium tetrachloride are oxidized by reaction with water (H_2O) in an oxyhydrogen flame. In outside vapor deposition the glass is deposited onto a solid rod, which is removed distance further processing.

In vapor axial deposition, a short seed rod is used, and a porous preform, whose length is not limited by the size of the source rod, is built up on its end. The porous preform is consolidated into a transparent, solid preform by heating to about 1,800 K (1,500 °C, 2,800 °F).

*Significant shifts between temperatures

$C^O = (5/9) (F^O - 32)$
$C^O = K^O - 273.16$
$F^O = (9/5) C^O +32$
$F^O = (9/5) (K^O – 273.16)$
$K^O = C^O + 273.16$
$K^O = (5/9) (F^O + 273.16)$

في ترسب للبخار الخارجي أو الترسب للبخار المحوري، يتشكل الزجاج من تحلل اللهب، وهو تفاعل يتأكسد فيه رابع كلوريد السيليكون ورابع كلوريد الجرمانيوم عن طريق التفاعل مع الماء (H_2O) بواسطة لهب أوكسي الهيدروجين. في ترسب البخار الخارجي يتم ترسيب الزجاج على قضيب صلب، والذي يتم إزالته بعد المزيد من المعالجة.

في الترسيب المحوري للبخار، يتم استخدام قضيب صغير لين، وتشكيل مسامية، والذي لا يقتصر طولها من حجم قضيب المصدر، وقد بنيت على نهايته. يتم دمج التشكيل بشكل يسهل اختراقها لشفافيتها ، ويتم تشكيل الصلبة عن طريق رفع درجة الحرارة إلى حوالي 1800 درجة كلفن 1500درجة مئوية، 2,800، درجة فهرنهايت).

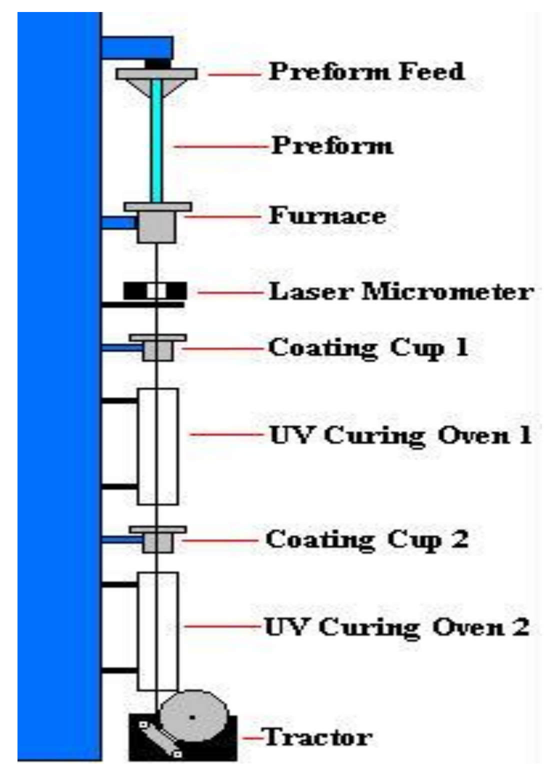


Figure 12.3: Configuration phase Optical fiber filament.

Because of the surface tension, the shape is smoothed during the drawing process, and the shape of the resulting fiber does not reproduce the sharp edges of the preform.

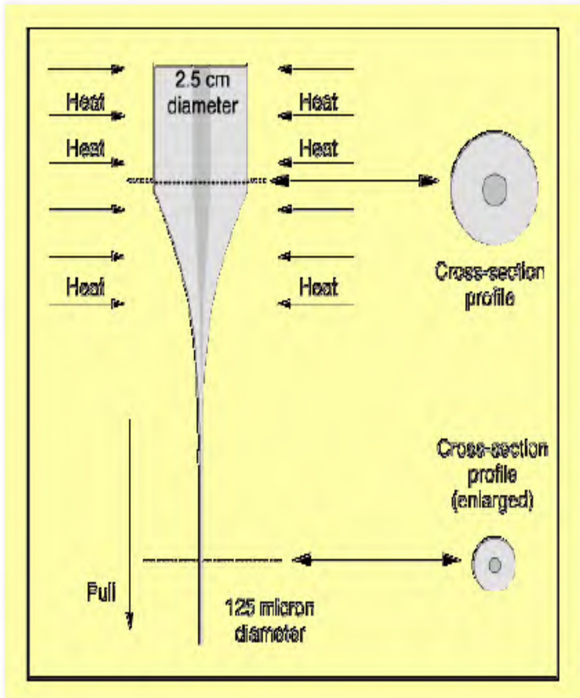
بسبب التوتر السطحي، يتم صقل الشكل اثناء عملة التصميم، وشكل الألياف الناتجة لا ينتشر على الحواف الحادة للتشكيل.

Nevertheless, careful polishing of the preform is important, since any defects of the preform surface affect the optical and mechanical properties of the resulting fiber.

ومع ذلك، ومن الاهمية يتم تلميع دقيق للشكل ، لأن أي عيوب على سطح التشكيل تؤثر على الخصائص البصرية والميكانيكية للألياف الناتجة.

In particular, the preform for the test-fiber shown in the figure was not polished well, and cracks are seen with the confocal optical microscope.

على وجه الخصوص، لأختبارتشكيل الألياف هو امر مهم لتبين أي من الشكل لم يصقل جيدا، وينظر إلى الشقوق في المجهر البصري متحد البؤر، لتوضيح العيوب ومن ثم تصحيحها.



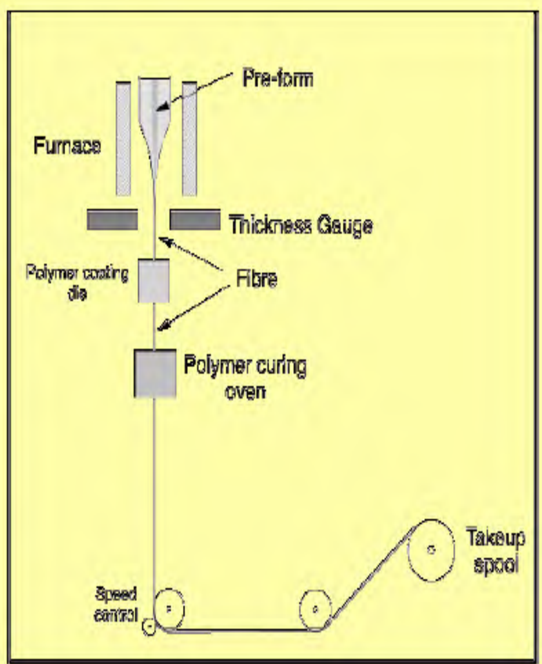


Figure 12.4: Demonstrates the final stage of visual fiber formation.

Chapter 13

Fiber Optic Splicing

13 Important Methods for Fiber Optic Splicing

13.1 Introduction

Fiber optic splicing is an important method of joining two fiber optic cables together. It is a preferred solution when an available fiber optic cable is not sufficiently long for the required run. Besides, splicing is designed to restore fiber optic cables when they are accidentally broken. Nowadays, fiber optic splicing is widely deployed in telecommunications, LAN (Local Area Network) and networking projects.

13 الطرق الهامة لربط الألياف البصرية

1.13 المقدمة

ربط الألياف البصرية هو وسيلة هامة لوصل اثنين من كابلات الألياف البصرية معاً. وهو حل مفضل عندما يكون كابل الألياف الضوئية المتوفر للتشغيل طويلاً بما فيه الكفاية. الى جانب ذلك، تم تصميم الربط لاستعادة كابلات الألياف البصرية عندما يتم كسرها بطريق الخطأ. في الوقت الحاضر، يتم ربط الألياف البصرية على نطاق واسع في الاتصالات السلكية واللاسلكية، LAN (الشبكة المحلية) ومشاريع الربط الشبكي.

13.2 What is Fiber Optic Splicing?

Knowledge of fiber optic splicing methods is vital to any company or fiber optic technician involved in Telecommunications or LAN and networking projects.

Simply put, fiber optic splicing involves joining two fiber optic cables together. The other, more

2.13 كيف ربط الالياف البصرية؟

معرفة طرق ربط الألياف البصرية من الأمر الظروري لأي شركة أو فني مشارك في مجال الاتصالات أو الشبكات المحلية ومشاريع الربط الشبكي للانترنيت.

ببساطة، ربط الألياف البصرية يتضمن ربط اثنين من كابلات الألياف البصرية معا. وتسمى طريقة أخرى، أكثر شيوعا، ربط

common, method of joining fibers is called termination or connectorization.

نهايات الألياف او التوصيلات.

Fiber splicing typically results in lower light loss and back reflection than termination making it the preferred method when the cable runs are too long for a single length of fiber or when joining two different types of cable together, such as a 48-fiber cable to four 12-fiber cables. Splicing is also used to restore fiber optic cables when a buried cable is accidentally severed.

وعادة ما يؤدي الربط بالالياف إلى انخفاض خسائر الضوء والانعكاس الخلفي من النهايات، مما يجعلها الطريقة المفضلة عندما يكون الكابل طويلا جدا ومد كيبل اخر لزيادة الطول أو عند ربط نوعين مختلفين من الكابلات معا، مثل كابل-48 الى اربع كابلات نوع -12. يستخدم الربط أيضا لاستعادة كابلات الألياف البصرية عندما يتم قطع الكابل المدفون بطريق الخطأ.

Typically, fiber optic splices can be undertaken in two ways:

1- Mechanical splices.
2- Fusion splices

عادة، يمكن ربط الوصلات البصرية بطريقتين:

1- الربط الميكانيكي.
2- الربط بالانصهار.

13.3 Mechanical Splicing and Fusion Splicing

3.13 الربط الميكانيكي و الربط بالانصهار

• Mechanical Splicing:

الربط الميكانيكي:

Mechanical splices are simply alignment devices, designed to hold the two fiber ends in a precisely aligned position thus enabling light to pass from one fiber into the other. (Typical loss: 0.3 dB)

الوصلات الميكانيكية هي ببساطة أجهزة محاذاة، مصممة لربط نهايتي اثنين من الألياف بدقة مما يتيح لتمرير الضوء من احد الألياف إلى الأخر. (تكون الخسارة النمطية: 0.3 ديسيبل)

• Fusion Splicing:

الربط بالانصهار:

In fusion splicing a machine is used to precisely align the two fiber ends then the glass ends are "fused" or "welded" together using some type of heat or electric arc.

في الربط بالانصهار تستخدم آلة لمحاذاة اثنين من الألياف بدقة متناهية، عند نهايتي زجاج الالياف "تنصهر" أو "تلحم" معا باستخدام بعض من انواع الحرارة أو قوس كهربائي. وهذا ينتج اتصال مستمر بين

This produces a continuous connection between the fibers enabling very low loss light transmission. (Typical loss: 0.1 dB)

الألياف ويكون الفقدان في انتقال الضوء منخفض جدا. (الخسارة النمطية: 0.1 ديسيبل)

• Which method is better?

• ما هي الطريقة الأفضل؟

The typical reason for choosing one method over the other is economics. Mechanical splicing has a low initial investment ($1,000 - $2,000) but costs more per splice ($12-$40 each). While the cost per splice for fusion splicing is lower ($0.50 - $1.50 each), the initial investment is much higher ($15,000 - $50,000) depending on the accuracy and features of the fusion splicing machine being purchased). The more precise you need the alignment (better alignment results in lower loss) the more you pay for the machine.

السبب الرئيسي لاختيار طريقة واحدة على الآخرى هوالجانب الاقتصاد. الربط الميكانيكي لديه جدوى اقتصادية اولية منخفضة ($2,000 - $1,00) ولكن التكاليف تكون أكثر لكل عملية لصق ($ 12- $ 40 لكل منهما). في حين أن التكلفة لكل لصق ربط الانصهار هو أقل (0.50 - 1.50 $ لكل منهما)، والتمويل الأولي هو أعلى بكثير ($15,000 - $50,000) اعتمادا على دقة وميزات آلة ربط الانصهار التي يجري شراؤها). أكثر دقة لانها تحتاج الى المحاذاة أي الرصف بين الالياف (أفضل لنتائج المحاذاة ينتج لدينا انخفاض بالخسارة) كلما كان ثمن الجهاز اكثر.

As for the performance of each splicing method, the decision is often based on what industry you are working in. Fusion splicing produces lower loss and less back reflection than mechanical splicing because the resulting fusion splice points are almost seamless. Fusion splices are used primarily with single mode fiber whereas Mechanical splices work with both single and multi-mode fiber.

أما بالنسبة لأداء كل طريقة من طرق الربط، فإن القرار يعتمد في كثير من الأحيان على نوع صناعة الجهاز التي تعمل عليه.
الربط بالانصهار ينتج أقل خسائر وأقل انعكاس راجع من الربط الميكانيكي لأن نقاط ربط الانصهار الناتجة تنتج كأنما تقريبا سلسة غير ملحومة. ربط الانصهار يستخدم في المقام الأول مع الألياف ذات النمط الواحد في حين يعمل الربط الميكانيكية مع كل من الألياف ذات النمط الواحد ومتعدد الانماط.

Many Telecommunications and CATV companies invest in fusion

العديد من شركات الاتصالات والكيبل التلفزيوني تعمل على الربط الانصهاري

splicing for their long haul single mode networks, but will still use mechanical splicing for shorter, local cable runs. Since analog video signals require minimal reflection for optimal performance, fusion splicing is preferred for this application as well. The LAN industry has the choice of either method, as signal loss and reflection are minor concerns for most LAN applications.

لشبكات النمط الواحد ولمسافات طويلة، ولكن للمسافات الاقصر لا تزال تستخدم الربط الميكانيكي ، عمل الكابلات المحلية.
بما أن إشارات الفيديو التناظرية تتطلب الحد الأدنى من انعكاس للأداء الأمثل، ويفضل الربط الانصهار لهذا التطبيق.
كذلك في الصناعة يستخدم الربط الانصهاري لان لديها تخوف من حدوث احد الامرين ، اما فقدان الإشارة او الانعكاسية وهي مخاوف بسيطة لمعظم التطبيقات.

13.3.1 Fusion Splicing Method

1.3.13 طريقة الربط الانصهاري

As mentioned previously, fusion splicing is a junction of two or more optical fibers that have been permanently affixed by welding them together by an electronic arc.

كما ذكر سابقا، الربط الانصهاري هو ربط اثنين أو أكثر من الألياف البصرية التي يتم التصاقهم بشكل دائمي عن طريق لحامهم معاً بواسطة طريقة القوس الإلكترونية.



Fieger 13.1: Model of splicer

Four basic steps to completing a proper fusion splice

أربع خطوات أساسية لاستكمال الربط الانصهاري السليم

Step 1: Preparing the fiber

- Strip the protective coatings, jackets, tubes, strength members, etc. leaving only the bare fiber showing. The main concern here is cleanliness.

الخطوة 1: إعداد الألياف

- قطع الغطاء الواقي، والسترات، والأنابيب، وأعضاء القوة، وما إلى ذلك.
نترك فقط ظهور الألياف العارية. الشاغل الرئيسي هنا هو النظافة.





Step 2: Cleave the fiber

- Using a good fiber cleaver here is essential to a successful fusion splice. The cleaved end must be mirror-smooth and perpendicular to the fiber axis to obtain a proper splice.

الخطوة 2: قطع الألياف

- استخدام الة القطع الخاصة لقطع الألياف جيداً، وهذا العمل ضروري لعمل لصق الانصهار الناجحة. يجب أن تكون نهاية القطع كالمرآة على نحو سلس وعمودي على محور الألياف للحصول على اللصق الصحيح.

NOTE: The cleaver does not cut the fiber! It merely nicks the fiber and then pulls or flexes it to cause a clean break. The goal is to produce a cleaved end that is as perfectly perpendicular as possible. That is why a good cleaver for fusion splicing can often cost $1,000 to $3,000. These

ملاحظة: الة القطع هي ليس لمجرد لقطع الالياف فقط! وانما هي لرفع الغطاء الخارجي ثم تسحب أو تثني عليه ويكون القطع نظيف. والهدف هو إنتاج نهاية المشقوق الذي يكون عمودي تماما. هذا هو السبب في القاطع يكون جيدة لربط الانصهاري وغالبا ما يكلف 1000 $ إلى 3000 $. يمكن لهذه الاداة القطع ان تنتج باستمرار زاوية مقطوعة 0.5 درجة أو أقل.

cleavers can consistently produce a cleave angle of 0.5 degree or less.

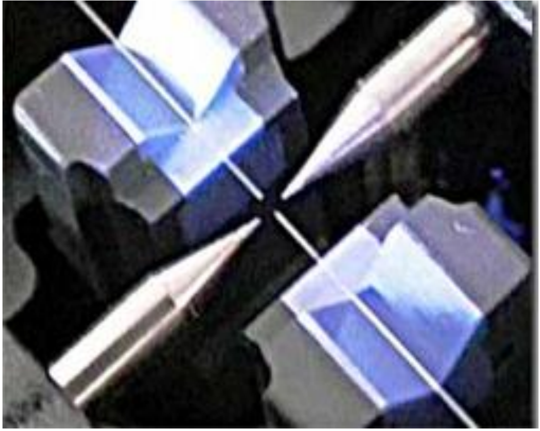
Step 3: Fuse the fiber

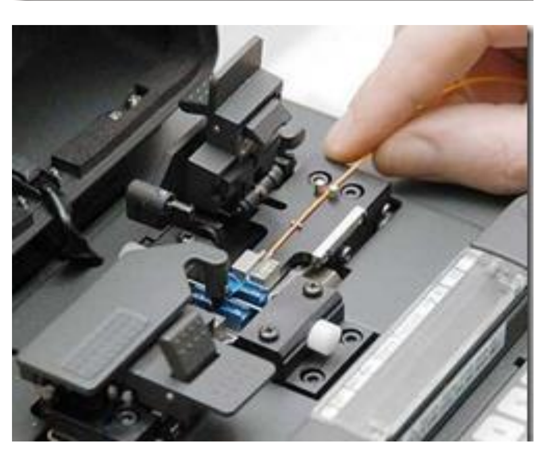
- There are two steps within this step, alignment and heating. Alignment can be manual or automatic depending on what equipment you have. The higher priced equipment you use, the more accurate the alignment becomes. Once properly aligned the fusion splicer unit then uses an electrical arc to melt the fibers, permanently welding the two fiber ends together.

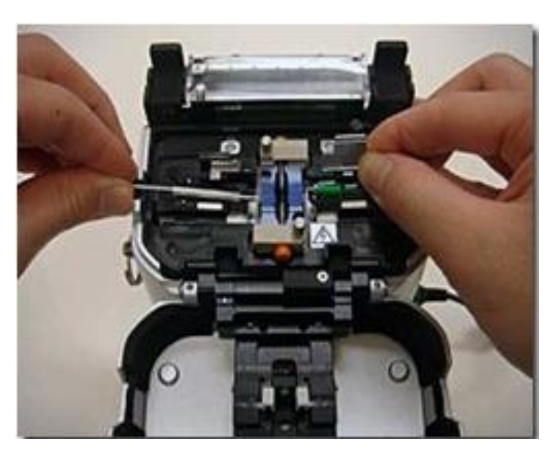
الخطوة 3: صمام الكهربائي للألياف

- هناك خطوتين في هذه الخطوة، وهما المحاذاة والتسخين. محاذاة يمكن أن تكون يدوية أو تلقائية اعتمادا على ما هي المعدات المستخدمة. المعدات ذات الأسعار الأعلى التي تستخدمها، تكون ذات دقة عالية للمحاذاة. أي ممكن استخدامها مرة واحدة لانتاج الياف بمحاذات صحيحة باستخدام وحدة ربط الانصهاري ثم يستخدم القوس الكهربائي لإذابة الألياف، وبهذا يكون اللحام بشكل دائم وتنتهي العملية بربط الألياف معاً.







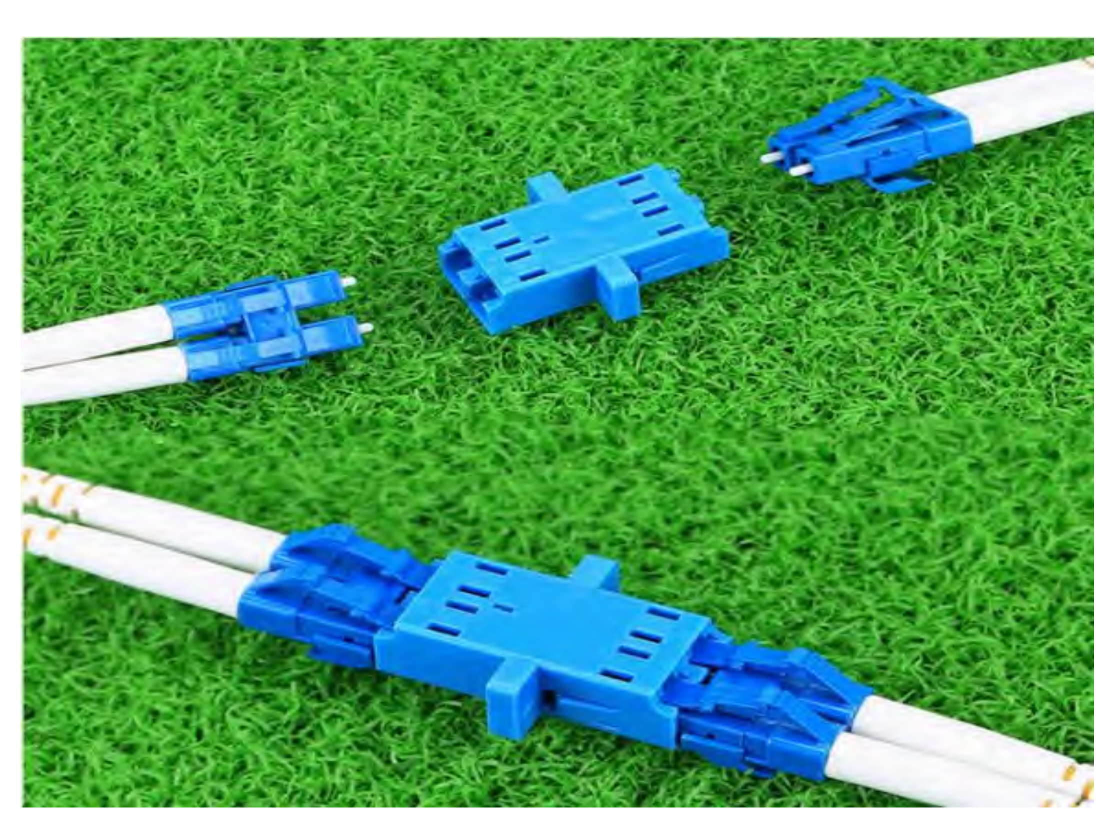


Step 4: Protect the fiber

- Protecting the fiber from bending and tensile forces will ensure the splice not break during normal handling. A typical fusion splice has a tensile strength between 0.5 and 1.5 lbs and will not break during normal handling but it still requires protection from excessive bending and pulling forces. Using heat shrink tubing, silicone gel and/or mechanical crimp protectors will keep the splice protected from outside elements and breakage.

الخطوة 4: حماية الألياف

- حماية الألياف من الانحناء و الشد و تسليط القوة لضمان لصق الالياف ولا يحدث كسر أثناء المعالجة العادية. إن الربط الانصهاري يكون نموذجي للالياف التي تتعرض الى قوة الشد بين 0.5 و 1.5 رطلا ولن يحدث كسر أثناء المعالجة العادية لكنه لا يزال يتطلب الحماية من الانحناء المفرط والسحب و تسليط القوة. باستخدام أنابيب ارتداد الحرارة ، هلام السيليكون و / أو حماة من القوة الميكانيكية وتكون اللصقة محمية من العناصر الخارجية والكسر.



Fieger 13.2: Mechanical **Splicing** model

13.3.2 Mechanical Splicing Method

Mechanical splicing is an optical junction where the fibers are precisely aligned and held in place by a self-contained assembly, not a permanent bond. This method aligns the two fiber ends to a common centerline, aligning their cores so the light can pass from one fiber to another.

Four steps to performing a mechanical splice:

Step 1: Preparing the fiber

- Strip the protective coatings, jackets, tubes, strength members, etc. leaving only the bare fiber showing. The main concern here is cleanliness.

Step 2: Cleave the fiber

- The process is identical to the cleaving for fusion splicing but the cleave precision is not as critical. It is necessary to obtain a cut on the fiber which is exactly at right angles to the axis of the fiber.

Step 3: Mechanically join the fibers

- There is no heat used in this method. Simply position the fiber ends together inside the mechanical splice unit. The index

2.3.13 طريقة الربط الميكانيكية

الربط الميكانيكي هو الربط البصري حيث تتم محاذاة الألياف بدقة وتحتفظ بها في مكانها من قبل مركب يعمل ذاتيا، وليس رابطة دائمة. هي طريقة محاذاة نهايات الألياف إلى خط الوسط المشترك، بمحاذاة اللب بحيث ان الضوء يمر من الليف إلى أخرى بسهولة.

أربع خطوات لأداء لصق الميكانيكية:

الخطوة 1: إعداد الألياف

- قطع الغطاء الواقي، والسترات، وأنابيب، وأعضاء القوة، وما إلى ذلك بحيث تظهر الألياف عارية. الشاغل الرئيسي هنا هو النظافة.

الخطوة 2: شق الألياف

- عملية متطابقة إلى عملية ربط الانصهار ولكن دقة ربط الالياف ليست حساسة. فمن الضروري الحصول على قطع من الألياف والتي تكون بالضبط في زوايا قائمة على محور الألياف.

الخطوة 3: ربط ميكانيكيا الألياف

- لا توجد حرارة مستخدمة في هذه الطريقة. ببساطة وضع الألياف ينتهي معا داخل وحدة لصق ميكانيكية. سوف يؤشر مؤشر على تطابق الالياف معاً وبعدها يوضع هلام داخل

matching gel inside the mechanical splice apparatus will help couple the light from one fiber end to the other.

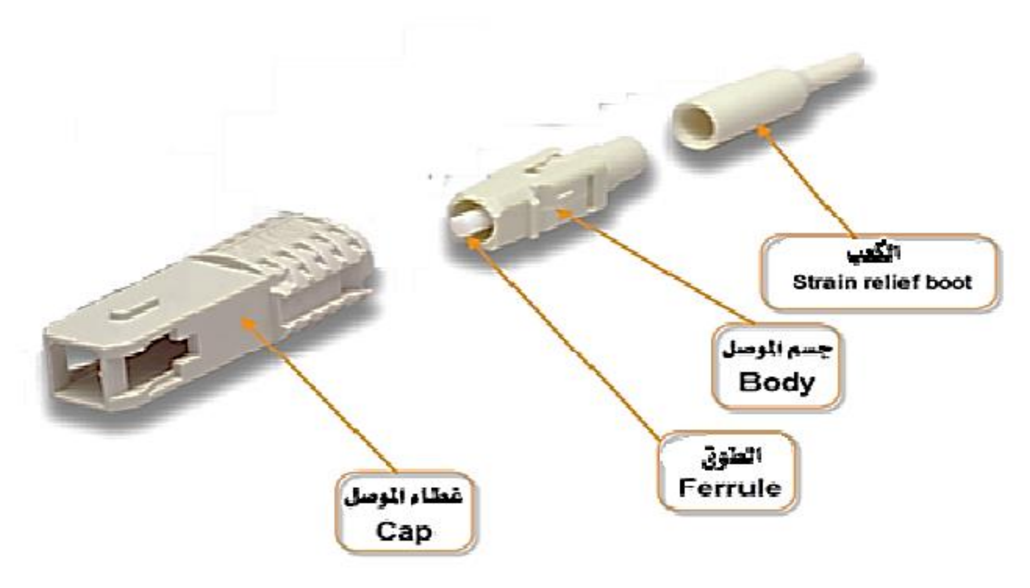
الجهاز للصق الميكانيكية ويكون معامل انكسار الهلام مطابق لمعامل انكسار اللب، وهناك زوجين من الضوء في نهاية كل ليف.

Step 4: Protect the fiber

- the completed mechanical splice provides its own protection for the splice.

الخطوة 4: حماية الألياف

- الانتهاء من اللصق الميكانيكية ويوفر هذا اللاصق حماية خاصة للالياف.



Fieger 13.3: Mechanical Splicing parts for Optical fiber



Fieger 13.4: Mechanical Splicing process

13.4 Fiber optic connectors — 4.13 انواع موصلات الألياف الضوئية

1- موصل
(sc connector)



أحادي
(simplex)

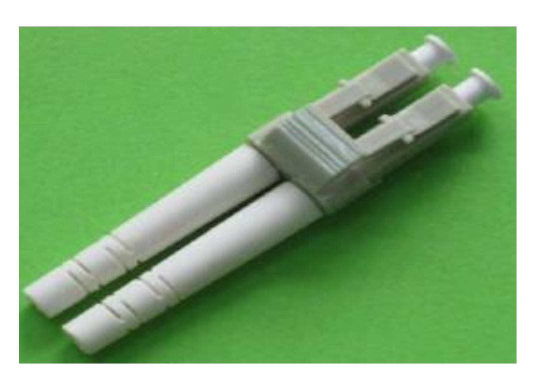


ثنائي
(duplex)

2- موصل
(LC connector)



أحادي
(simplex)



ثنائي
(duplex)



3- موصل
(FC connector)



4- موصل
(ST connector)



5- موصل
(MT-RJ connector)
وهو يستخدم مع الليف الضوئي المزدوج
(Duplex)



6- موصل
(MU connector)

ملاحظة : كل نوع من انواع الموصلات اعلاه لها نوعان أحادي النمط ويركب مع الليف الضوئي الاحادي النمط ومتعدد ويركي مع الليف الضوئي متعدد النمط.

13.5 Tips for Better Splices

1. Thoroughly and frequently clean your splicing tools. When working with fiber, keep in mind that particles not visible to the naked eye could cause tremendous problems when working with fiber optics. "Excessive" cleaning of your fiber and tools will save you time and money down the road.

2. Properly maintain and operate your cleaver. The cleaver is your most valuable tool in fiber splicing. Within mechanical splicing you need the proper angle to insure proper end faces or too much light escaping into the air gaps between the two fibers will occur. The index matching gel will eliminate most of the light escape but cannot overcome a low quality cleave. You should expect to spend around $200 to $1,000 for a good quality cleaver suitable for mechanical splicing.

3.For Fusion splicing, you need an even more precise cleaver to achieve the exceptional low loss (0.05 dB and less). If you have a poor cleave the fiber ends might not melt together properly causing light loss and high reflection problems. Expect to pay $1,000 to $4,000 for a good cleaver to handle the precision required for

5.13 نصائح للتوصيلات أفضل

1. بدقة وبشكل متكرر نظف أدوات الربط الخاصة بك. عند العمل مع الألياف، نضع في اعتبارنا أن الجسيمات غير مرئية للعين المجردة يمكن أن يسبب مشاكل هائلة عند العمل مع الألياف البصرية. تنظيف "المفرط" من الألياف والأدوات الخاصة بك سيوفر لك الوقت والمال.

2. يجب تشغيل وصيانة القاطع بعناية. القاطع هي الأداة الأكثر قيمة في ربط الألياف. داخل الربط الميكانيكية تحتاج إلى زاوية مناسبة لضمان وجوه نهاية سليمة لضمان عدم خروج الضوء إلى داخل الفجوات الهواء بين الألياف.

يجب ان يكون الهلام ذات مؤشر مطابق لمؤشر الالياف لضمان عدم تشتت الضوء ولكن لا يمكن التغلب على انخفاض الجودة. يجب أن تتوقع أن تنفق حوالي 200 $ إلى 1000 $ لذات جودة القاطع مناسبة للالتصاق الميكانيكية.

3. لربط الاندماج، تحتاج إلى القاطع أكثر دقة لتحقيق خسارة منخفضة استثنائية (0.05 ديسيبل وأقل). إذا كان لديك قاطع رخيص الثمن ينتهي بك الامر ان الألياف قد لا تذوب معا بشكل صحيح مما تسبب في فقدان الضوء ومشاكل انعكاس عالية. نتوقع أن تدفع $ 1,000إلى $ 4,000 للتعامل مع الدقة المطلوبة لربط الاندماج. الحفاظ على القاطع الخاص بك عن طريق اتباع تعليمات الشركة المصنعة لتنظيفه وكذلك استخدام الأداة بشكل

fusion splicing. Maintaining your cleaver by following manufacturer instructions for cleaning as well as using the tool properly will provide you with a long lasting piece of equipment and ensuring the job is done right the first time.

صحيح سوف توفر لك قطعة طويلة الأمد من المعدات وضمان أن يتم العمل به على اكمل وجه من المرة الاولى.

4. Fusion parameters must be adjusted minimally and methodically (fusion splicing only). If you start changing the fusion parameters on the splicer as soon as there is a hint of a problem you might lose your desired setting. Dirty equipment should be your first check and them continue with the parameters. Fusion time and fusion current are the two key factors for splicing. Different variables of these two factors can produce the same splice results. High time and low current result in the same outcome as high current and low time. Make sure to change one variable at a time

4. يجب تعديل الاعدادات (المعلمات) الربط في الحد الأدنى ومنهجية (الربط الاندماجي فقط). إذا بدأت تغيير الاعدادات الاندماج على الربط بمجرد وجود تلميح من مشكلة قد تفقد الإعداد المطلوب. أي تجنب المعدات الغير نظيفة بالمره، وبهذا سوف تستمر مع الاعدادات.

وقت الاندماج وتيار الاندماج هما عاملان رئيسيان للربط. متغيرات مختلفة من هذين العاملين يمكن أن تنتج نفس نتائج اللصق. زيادة الوقت وانخفاض قيمة التيار سيعطينا نفس النتيجة كما ان قلة الوقت وزيادة التيار. يؤدي الى نفس النتيجة لكن يجب ان تكون التغيرات بالاعدادات محسوب بدقة ، لذلك من الافضل يكون التغير بواحد من الاعدادات.

13.6 Which Method is Better?

6.13 ما هي الطريقة الأفضل؟

Both fusion splicing and mechanical splicing method have their advantages and disadvantages. Whether choosing fusion splice or mechanical splice depends on the applications.

كلاً من الربط الانصهار وطريقة الربط الميكانيكية لها مزايا وعيوب. سواء اختيار لصق الانصهار أو لصق الميكانيكية يعتمد على التطبيقات.

The fusion one provides a lower level of loss and a higher degree

ربط الانصهار يوفر مستوى أقل من الخسارة وقدرة أعلى من الدوام من الربط الميكانيكية.

of permanence than mechanical splicing. However, this method requires the use of the expensive fusion splicing equipment. In view of this, fusion splice tends to be used for the long high data rate lines that are installed that are unlikely to be changed once installed.

ومع ذلك، يتطلب هذا الأسلوب استخدام معدات ربط الانصهار باهظة الثمن. وبالنظر إلى ذلك، يميل لصق الانصهار إلى أن يستخدم لخطوط معدل البيانات المرتفعة الطويلة التي تم تثبيتها والتي من غير المرجح أن تتغير بمجرد تثبيتها.

The mechanical splicing is used for applications where splices need to be made very quickly and where the expensive equipment for fusion splices may not be available. Some mechanical fiber optic splice easily allows both connection and disconnection. In this way, a mechanical splice may be used in applications where the splice may be less permanent.

يتم استخدام الربط الميكانيكي للتطبيقات حيث تحتاج الوصلات بسرعة كبيرة وحيث قد لا تكون المعدات باهظة الثمن للانصهار الربط متوفرة. بعض الألياف الصق الميكانيكية يسمح بسهولة الاتصال والانقطاع. وبهذه الطريقة، يمكن استخدام لصق الميكانيكية في التطبيقات حيث قد يكون لصق أقل دائمة.

وهذا موديل لماكنة تستخدم لربط الالياف البصرية بواسة الربط الانصهاري:



Fieger 13.5: Model machine used to Splicing optical fiber by the fusion Splicing

13.7 Product overview

AV6471 is a newly designed optical fiber fusion splicer. With powerful functions and ultra-low splicing loss, it can fully meet the application of fiber splicing for trunk lines and FTTx environment.

The compact structure and exquisite design make it easy to operate even in confined space. The optical imaging system and full-digital design make the image display clear and delicate.

The embedded real-time operating system provides friendly operation interface and multiple functions. The built-in high capacity lithium battery guarantees long-time field operation.

The real-time environment (temperature, humidity and air pressure) compensation system greatly improves its ability against the hostile external environment changes, and thus ensures the consistency of low-loss splicing in different environments.

7.13 نظرة عامة على المنتج

AV6471 هو نوع حديث مصمم للربط الانصهار للألياف البصرية. مع وظائف قوية وفقدان الربط منخفضة للغاية، فإنه يمكن أن تلبي تماما تطبيق الربط الألياف للخطوط القنوات ومحيط FTTx.

هيكل مدمج وتصميم رائع يجعل من السهل أن تعمل حتى في مكان ضيق. نظام التصوير البصري وتصميم كامل الرقمية جعل عرض صورة واضحة وحساسة.

يوفر نظام التشغيل المدمج في الوقت الحقيقي واجهة تشغيل مميزه ووظائف متعددة. تحوي على بطارية ليثيوم مدمجة عالية السعة يضمن التشغيل لفترة طويلة من العمل الميداني.

اومن ناحية البيئة في الوقت الحقيقي (درجة الحرارة والرطوبة وضغط الهواء) نظام التعويض يحسن إلى حد كبير قدرتها ضد التغيرات البيئة الخارجية المتغيرة، وبالتالي يضمن اتساق ممتاز وانخفاض خسارة الربط في بيئات مختلفة.

Main features	**الخصائص الرئيسية**
Full-digital design	تصميم رقمي متكامل
8 seconds for splicing, 30 seconds for pyrocondensation	8 ثوان للربط، 30 ثانية للإيصال
Can be set: to automatically start splicing once closing the windshield, and automatically start pyrocondesantion once closing the heating cover	يمكن تعيين: لبدء الربط تلقائيا بمجرد إغلاق الزجاج الأمامي، وتلقائيا بدء التكثيف مرة واحدة بإغلاق غطاء الحراري.
5.7 inch digital high-definition LCD display	الشاشة رقمية ذات حجم 5.7 انج عالية الوضوح
Built-in high capability lithium battery: support 320 times of splicing and heating	ومدمجة في قدرة عالية لبطارية الليثيوم: يمكن دعم 320 مرات من الربط والحرارة.
Real-time accurate display of remaining battery capability	عرض دقيق على الشاشة لقدرة البطارية المتبقية.

NOTE:
Fiber optic splicing is an essential method in the installation of fiber optic networks. Choosing the suitable method, whether fusion splice or mechanical splice relying on its applications, can not only saves money but also improves efficiency. When doing fiber splicing, it is necessary to following the specific instructions strictly for perfect splices. Besides, keeping all splicing tools clean is also very important.

ملاحظة:
الربط البصري هو طريقة أساسية في تركيب شبكات الألياف البصرية. واختيار طريقة مناسبة، سواء لصق الانصهار أو لصق الميكانيكية بالاعتماد على تطبيقاته، لا يمكن أن يوفر فقط المال ولكن أيضا يحسن الكفاءة. عند القيام بربط الألياف، فمن الضروري اتباع تعليمات محددة بدقة لتحسين الكفاءة. الى جانب ذلك، حفظ جميع أدوات الربط نظيفة أيضا مهم جدا.

Appendix Acronyms

حقول المعرفة كلها لها رموزٌ ومختصرات تُعرف بها، وفي مجال الاتصالات البصرية هناك ايضاً مختصرات للكلمات الدالة المستخدمة على نطاق علمي واسع، وعلى هذا الأساس تمت الإفادة منها في هذا الكتاب مع تبيان للمختصرات الأكثر استخداماً بتبويب كل مختصر بكلماته الدالة في الحقل العلمي نفسه، والمذكور في متن الكتاب بترجمته العلمية.

وذلك استكمالاً لفائدة الباحث والدارس معاً لاسيما وإنها قد رتبت في هذا الملحق على وفق ابجدية اللغة الإنكليزية.

Shortcut characters	Key words
ABF	Air Blown Fibre
ac	alternating current
ACK	Acknowledgment
ADM	Add-Drop Multiplexor
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AEL	Accessible Emission Limit
AM	Amplitude Modulation
AON	All-Optical Network
AOTF	Acousto-Optical Tunable Filter
APD	Avalanche PhotoDiode
ASE	Amplified Spontaneous Emission
ASK	Amplitude-Shift Keying
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Array Waveguide Grating
BEDSFA	Broadband Erbium Doped Silicon Fibre Amplifier
BER	Bit Error Rate
BH	Buried Heterostructure
BISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
BPF	Band Pass Filter
CATV	Community Antenna Television

CBS	Central Base Station
CD	Compact Disk
CDM	Code-Division Multiplexing
CDMA	Code Division Multiple Access
CFR	Cross-Coupling Fibre Ring Resonator
CIP	Carrier-Induced Phase Modulation
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CNR	Carrier to Noise Ratio
CPFSK	Continuous-Phase Frequency-Shift Keying
CRZ	Chirped Return-To-Zero
CSMA	Carrier-Sense Multiple Access
CSO	Composite Second-Order
CTB	Composite Triple Beat
CVD	Chemical Vapor Deposition
CW	Continuous Wave
dB	Decibel
dBm	Decibels Above/Below one Milliwatt
DBR	Distributed Bragg Reflector (laser) dc direct current
DCF	Dispersion Compensating Fibre
DCM	4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6- (4-dimethylaminostyryl)-4H-pyran
DDF	Dispersion-Decreasing Fiber
DFB	Distributed FeedBack (laser)
DFG	Difference Frequency Generation
DFR	Direct-coupling Fibre Ring resonator
DGD	Differential Group Delay
DH	Double Heterostructure
DIP	Dual In-Line Package
DM	Dispersion-Managed
DMD	Differential Mode Delay
DPSK	Differential Phase-Shift Keying
DSF	Dispersion Shifted Fibre
DSHI	Delayed Self-Heterodyne Interferometer
DUT	Device Under Test
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EA	Electro-Absorption
ECL	Emitter Coupled Logic
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
EDFFA	Erbium Doped Fluoride Fibre Amplifier
EDSFA	Erbium Doped Silicon Fibre Amplifier
EH	Electric Magnetic (H = magnetic)
EIA	Electronic Industries Association

EMC ElectroMagnetic Compatibility
EMD Equilibrium Mode Distribution
EMI ElectroMagnetic Interference
EMV Effective Mode Volume
FBT Fused Biconical Taper
FC Fibre Channel
FDDI Fibre Distributed Data Interface
FDHM Full Duration at Half Maximum
FDM Frequency Division Multiplexing
FEC Forward Error Correction
FEL Free Electron Laser
FET Field Effect Transistor
FFP Fibre Fabry-Perot filter
FITL Fibre In The Loop
FM Frequency Modulation
FOTP Fibre Optic Test Procedure
FP Fabry-Perot
FPI Fabry-Perot Interferometer
FPM Four Photon Mixing
FSC Free Space Coupler
FSK Frequency Shift Keying
FSR Free Spectral Range
FTTC Fibre To The Curb
FTTH Fibre To The Home
FTTN Fibre To The Neighbourhood
FWHM Full Width Half Maximum
FWM Four Wave Mixing
GbE Gigabit Ethernet
GI Graded-Index
GRIN GRaded-INdex
GVD Group Velocity Dispersion
HBT Heterojunction-Bipolar Transistor
HDSL High-Speed Digital Subscriber Line
HDTV High-Definition Television
HE Magnetic Electric (H = Magnetic)
HEMT High-Electron-Mobility Transistor
HFC Hybrid Fiber-Coaxial
HIPPI High-Performance Parallel Interface
HPCF Hard Plastic Coated silica Fibre or Hard Polymer Clad silica Fibre
HPCS Hard Plastic Coated Silica or Hard Polymer Clad Silica
HWHM Half-Width Half-Maximum

Hz	Hertz
IC	Integrated Circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IF	intermediate frequency
IM/DD	intensity modulation with direct detection
IMD	intermodulation distortion
IMP	intermodulation product
IP	Internet Protocol
IR	Infra-Red
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISI	Intersymbol Interference
ITU	International Telecommunication Union
IVPO	Inside Vapour Phase Oxidation
LAN	Local Area Network
LASER	Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation
LD	Laser Diode
LEAF	Large Effective-Area Fiber
LED	Light Emitting diode
LEOS	(IEEE) Lasers and Electro-Optics Society
LO	Local Oscillator
LOL	Loss Of Light
LP	Linearly Polarised
LPE	Liquid-Phase Epitaxy
LPF	Low-Pass Filter
LW	Long Wavelength
MAN	Metropolitan Area Network
Mb	Mega bit
MB	Mega Byte
MBd	Mega Baud
MBE	Molecular Beam Epitaxy
MCVD	Modified Chemical Vapour Deposition
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System
MESFET	Metal Schottky Field Effect Transistor
MFD	Mode Field Diameter
MISFET	Metal Integrated Semiconductor Field Effect Transistor
MM	MultiMode
MOCVD	metal-organic chemical vapor deposition
MONET	multiwavelength optical network
MOS	Metal Oxide Semiconductor
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPEG	motion-picture entertainment group

MPN	mode-partition noise
MQW	MultiQuantum-Well
MSK	minimum-shift keying
MSM	metal–semiconductor–metal
MSR	mode-suppression ratio
MTBF	Mean Time Between Failures (or Before Failure)
MTTF	Mean Time To Failure
MZ	Mach-Zehnder
MZI	Mach-Zehnder Interferometer
NA	Numerical Aperture
NEP	Noise-Equivalent Power
N-ISDN	Narrowband Integrated Services Digital Network
NLS	Nonlinear Schr¨Odinger
NOLM	Non-Linear Optical Loop Mirror
NRZ	Nonreturn to Zero
ns	nanosecond
NSDSF	Nonzero-Dispersion-Shifted Fiber
NSE	Nonlinear Schr¨Odinger Equation
NTSC	National Television Standards Committee
OADM	Optical Add-Drop Multiplexor
OC	Optical Carrier
OEIC	Opto-Electronic Integrated Circuit
OFC	Open Fibre Control
OFDM	Optical Frequency Division Multiplexing
OFL	Over-Filled Launch
OLED	Organic Light-Emitting Diodes
OOK	On-Off Keying
OPC	optical phase conjugation
OSL	Organic Semiconductor Laser
OTDM	Optical Time Division Multiplexing
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer
OVD	Outside Vapour Deposition
OVPO	Outside Vapour-Phase Oxidation
OXC	Optical Cross-Connect
PAL	Phase Alternating Line
PANDA	Polarisation Maintaining AND Absorption Reducing
PCM	Pulse-Code Modulation
PCN	Personal Communication Network
PCOF	Primary Coated Optical Fibre
PCS	Personal Communication System
PCVD	Plasma-activated Chemical Vapour Deposition

PDF	probability density function
PDG	Polarisation Dependent Gain
PDL	Polarisation Dependent Loss
PDM	polarization-division multiplexing
P–I	Power–Current
PIC	Photonic Integrated Circuit
PIN	P-doped silicon, Intrinsic silicon, N-doped silicon junction
PM	Phase Modulation
PMD	Polarisation Mode Dispersion
PMF	Polarisation Maintaining Fibre
PMMA	Poly-Methyl MethylAcrylate
POF	Plastic Optical Fibre
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone System
PRBS	Passive Radio Base Station
PrDFA	Praseodymium Doped Fibre Amplifier
PSK	Phase-Shift Keying
PSP	Principal State of Polarization
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCSE	Quantum Confined Stark Effect
RAPD	Reach-through Avalanche PhotoDiode
RDF	Reverse-Dispersion Fiber
RECAP	REsonant CAvity Photodetector
REDFA	Rare-Earth Doped Fibre Amplifier
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interference
RI	Refractive Index
RIN	Relative Intensity Noise
RMS	Root Mean Square
RO	Relaxation Oscillation
ROFL	Radial Over-Filled Launch
Rx	Receiver
RZ	Return To Zero
SAGCM	Separate Absorption, Grading, Charge, And Multiplication
SAGM	Separate Absorption, Grading, And Multiplication
SAM	Separate Absorption And Multiplication
SAW	Surface Acoustic Wave
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
SCM	SubCarrier Multiplexing
SCMOL	SubCarrier Multiplexed Optical Link
SCOF	Secondary Coated Optical Fibre

SDH Synchronous Digital Hierarchy
SHG Second Harmonic Generation
SHIP Silicon Hetero-Interface Photodetector
SI Step-Index
SLA Semiconductor Laser Amplifier
SLD SuperLuminescent Diode
SLM single longitudinal mode
SM Single Mode
SNR Signal-to-Noise Ratio
SOA Semiconductor Optical Amplifier
SOI Silicon On Insulator or Silica On Insulator
SONET Synchronous Optical Network
SPM Self-Phase Modulation
SQW Single Quantum Well
SRS Stimulated Raman Scattering
SSFS Soliton Self-Frequency Shift
STM Synchronous Transport Module
STP Shielded Twisted Pair
STS Synchronous Transport Signal
SW Short Wavelength
TCP Transmission Control Protocol
TDM Time Division Multiplexing
TE Transverse Electric
TEM Transverse Electro-Magnetic
TM Transverse Magnetic
TOAD Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer
TOD Third-Order Dispersion
TP Twisted Pair
TR Token-Ring
TW traveling wave
TWA Travelling Wave Amplifier
TWSLA Travelling Wave Semiconductor Laser Amplifier
Tx Transmitter
UV Ultra-Violet
VAD Vapour-phase Axial Deposition
VCSEL Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser
VDSL Very high speed Digital Subscriber Line
VPE Vapor-Phase Epitaxy
VSB Vestigial Sideband
WAN Wide-Area Network
WDM Wavelength Division Multiplexing

WDMA	wavelength-division multiple access
WGR	Waveguide Grating Router
XGM	Cross Gain Modulation
XPM	Cross Phase Modulation
YAG	Yttrium Aluminium Garnet
YIG	Yttrium Iron Garnet
YLF	Yttrium Lithium Fluoride
ZBGA	Zirconium Barium Gadolinium Aluminium (Fluoride)
ZBLA	Zirconium Barium Lanthium Aluminium (Fluoride)
ZBLAN	Zirconium Barium Lanthium Aluminium Sodium (Fluoride)
ZDWL	Zero-Dispersion Wavelength
ZMD	Zero Material Dispersion

Reference

[1] A. Bartels, E. Peiner, G.-P. Tang, R. Klockenbrink, H.-H.Wehmann, and A. Schlachetzki, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 670 (1996).

[2] A. Mecozzi, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 13, 1029 (2001).

[3] A. Umbach, C. Schramm, G. Unterborsch, and S. van Waasen, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 11, 257 (1999).

[4] Aaron Buchwald and Ken Martin. ***Integrated Fiber-optic Receivers.*** Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.

[5] Aaron Buchwald. Multi gigabit-per-second serial **data** links, March 2001. Lecture Notes. MEAD Microelectronics.

[6] Agere Systems. Electroabsorptive modulated laser (EML): setup and optimization. Agere Systems, Technical Note, May 2000.

[7] Agere Systems. Low-cost, high-voltage APD bias circuit with temperature compensation. Agere Systems, Application Note, January 1999.

[8] Agere Systems. Relationship between chirp and voltage in Agere Systems' Mach-Zehnder lithium niobate modulators. Agere Systems, Technical Note, March 2002.

[9] Agere Systems. Using the lithium niobate modulator: electro-optical and mechanical connections. Agere Systems, Technical Note, April 1998.

[10] Alan B. Grebene. *Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design.* John Wiley & Sons, New York, 1984.

[11] Alan Rogers, Polarization in Optical Fibers, 2008 ARTECH HOUSE, INC. 685 Canton Street Norwood, MA 02062 (2008).

[12] Alexandru A. Ciubotaru and Javier Sfinchez Garcia. An integrated directcoupled lO-Gb/s driver for common-cathode VCSELs. *IEEE J. Solid-state Circuits,* SC-39(3):42643 3, March 2004.

[13] Andrew **J.** Blanksby and Chris J. Howland. A 690-mW I-Gb/s 1024 b, rate- 112 low-density parity-check code decoder. ***IEEE** J. **Solid State Circuits,*** SC 37(3):404-412, March 2002.

[14] B. E. A. Saleh and M. Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley, New York, 1991.

[15] B. J. Eggleton, J. A. Rogers, P. B. Westbrook, and T. A. Strasser, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **11,** 854 (1999).

[16] B. L. Kasper and J. C. Campbell, *J. Lightwave Technol.* 5, 1351 (1987).

[17] B. L. Kasper, in *Optical Fiber Telecommunications II*, S. E. Miller and I. P. Kaminow, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1988, Chap. 18.

[18] Behnam Analui and Ali Hajimiri. Bandwidth enhancement for

transimpedance amplifiers. *IEEE J. Solid-Stare Circuits*, SC-39(8): 1263-1270, August 2004.

[19] Bendik Kleveland, Carlos H. Diaz, Dieter Vook, Liam Madden, Thomas H. Lee, and S. Simon Wong. Exploiting CMOS reverse interconnect scaling in multigigahertz amplifier and oscillator design. *[19] IEEE J. Solid-state Circuits*, SC-36(10):1480-1488, October 2001.

[20] Bryon L. Kasper, Alfred R. McCormick, Charles A. Burrus Jr., and J. R. Talman. An optical-feedback transimpedance receiver for high sensitivity and wide dynamic range at low bit rates. *IEEE J. Lightwave Technology*, LT-6(2):329-338, February 1988.

[21] Bryon L. Kasper, Osamu Mizuhara, and Young-Kai Chen. High bit rate receivers, transmitters, and electronics. In Ivan P. Kaminow and Tingye Li, editors, *Optical Fiber Telecommunications IVA*, pages 784-85 1. Academic Press, San Diego, 2002.

[22] Bryon L. Kasper. Receiver design. In Stewart E. Miller and Ivan P. Kaminow, editors, *Optical Fiber Telecommunications 11*, pages 689-722. Academic Press, San Diego, 1988.

[23] C. C. Barron, C. J. Mahon, B. J. Thibeault, G. Wang, W. Jiang, L. A. Coldren, and J. E. Bowers, *Electron. Lett.* 30, 1796 (1994).

[24] C. L. F. Ma, M. J. Deen, and L. E. Tarof, *IEEE J. Quantum Electron.* 31, 2078 (1995).

[25] C. Lenox, H. Nie, P. Yuan, G. Kinsey, A. L. Homles, B. G. Streetman, and J. C. Campbell, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 11, 1162 (1999).

[26] C. R. S. Fludger, B. Handerek, and R. J. Mears, *J. Lightwave Technol.* **19,** 1140 (2001).

[27] C. Y. Chen, B. L. Kasper, H. M. Cox, and J. K. Plourde, *Appl. Phys. Lett.* 46, 379 (1985).

[28] Couplers for Sensing Applications,'' *SPIE's International Symposium on Optical Tools for Manufacturing and Advanced Instrumentation*, Boston, MA, Vol. 2071, paper 2071-06, 1993, pp. 49–58.

[29] D. Hassin and R. Vahldieck. Feedforward linearization of analog modulated laser diodes: theoretical analysis and experimental verification. *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques,* MTT-41(12):2376-2382, December 1993.

[30] D. Innis, D. J. DiGiovanni, T. A. Strasser, A. Hale, C. Headley, A. J. Stentz, R. Pedrazzani, D. Tipton, S. G. Kosinski, D. L. Brownlow, K. W. Quoi, K. S. Kranz, R. G. Huff, R. Espindola, J. D. Le Grange, and G. Jacobovitz- Veselka, *Proc. Conference on Lasers and Electro Optics* (1997), CPD-31.

[31] D. J. DiGiovanni and A. J. Stentz, U.S. Patent 5 864 644 (Jan. 26, 1999).
[32] D. K. C. MacDonald, *Noise and Fluctuations: An Introduction*, Wiley, New York, 1962.
[33] D. R. Smith, R. C. Hooper, P. P. Smyth, and D. Wake, *Electron. Lett.* 18, 453 (1982).
[34] Daniel A. Fishman and B. Scott Jackson. Transmitter and receiver design for amplified lightwave systems. In Ivan P. Kaminow and Thomas L. Koch, editors, *Optical Fiber Telecommunications IIIB*, pages 69-1 14. Academic Press, San Diego, 1997.
[35] David E. Bockelman and William **R.** Eisenstadt. Combined differential and common-mode scattering parameters: theory and simulation. ***IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques,*** M'IT-43(7): 1530-1539, July 1995
[36] David Johns and Ken Martin. *Analog Integrated Circuit Design.* John Wiley & Sons, New York, 1997.
[37] Dennis L. Feucht. *Handbook* of *Analog Circuit Design.* Academic Press, San Diego, 1990
[38] Donald B. Estreich. A monolithic wide-band GaAs IC amplifier. *IEEEJ. Solid- State Circuits,* SC-17(6):1166-1173, December 1982.
Donald Estreich. Basic building blocks. In Ravender Goyal, editor, *High Frequency Analog Integrated Circuit Design*, pages 127-1 69. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
[39] Donald Estreich. Wideband amplifiers. In Ravender Goyal, editor, *High- Frequency Analog Integrated Circuit Design*, pages 170-240. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
[40] E. Droge, E. H. Bottcher, S. Kollakowski, A. Strittmatter, D. Bimberg, O. Reimann, and R. Steingruber, *Electron. Lett.* 34, 2241 (1998).
[41] E. E. Narimanov and P. P. Mitra, *J. Lightwave Technol.* 20, 530 (2002).
[42] E. M. Cherry and D. E. Hooper. The design of wide-band transistor feedback amplifiers. ***Proceedings IEE,*** I 10(2):375-389, February 1963.
[43] E. M. Dianov, I. A. Bufetov, M. M. Bubnov, A. V. Shubin, S. A. Vasiliev, O. I. Medvedkov, S. I. Semjonov, M. V. Grekov, V. M. Paramonov, A. N. Gur'yanov, V. F. Khopin, D. Varelas, A. Iocco, D. Costantini, H. G. Limberger, and R.-P. Salathé, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (1999), paper PD25.

[44] E. M. Dianov, I. A. Bufetov, M. M. Bubnov, M. V. Grekov, S. A. Vasiliev, and O. I. Medvedkov, *Opt. Lett.* **25,** 402 (2000).

[45] E. M. Dianov, M. V. Grekov, I. A. Bufetov, S. A. Vasiliev, O. I. Medvedkov, V. G. Plotnichenko, V. V. Koltashev, A. V. Belov, M. M. Bubnov, S. L. Semjonov, and A. M. Prokhorov, *Electron. Lett.* **33,** 1542 (1997).
[46] E. Sano, K. Kurishima, and S. Yamahata, *Electron. Lett.* 33, 159 (1997).
[47] E. Sano, M. Yoneyama, H. Nakajima, and Y. Matsuoka, *J. Lightwave Technol.* 12, 638 (1994).
[48] Eduard Sackinger, Broadband Circuits for Optical Fiber Communication, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada (2005).
[49] Edward A. Lee and David G. Messerschmitt. *Digital Communication.* Kluwer Academic Publishers, Boston, 2nd edition, 1994.
[50] Edward Harstead and Pieter H. van Heyningen. Optical access networks. In Ivan P. Kaminow and Tingye Li, editors, *Optical Fiber Telecommunications* ***IVB,*** pages 438-513. Academic Press, San Diego, 2002.
[51] F. Capasso, in *Semiconductor and Semimetals*, Vol. 22D, W. T. Tsang, Ed., Academic Press, San Diego, CA, 1985, pp. 1–172.
[52] F. Leplingard, S. Borne, C. Martinelli, C. Leclère, T. Lopez, J. Guérin, and D. Bayart, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (2003), paper ThB4.
[53] F. Leplingard, S. Borne, L. Lorcy, T. Lopez, J.-J. Guérin, C. Moreau, C. Martinelli, and D. Bayart, *Electron. Lett.* **38,** 886 (2002).
[54] F. N. H. Robinson, *Noise and Fluctuations in Electronic Devices and Circuits*, Oxford University Press, Oxford, 1974.
[55] Fred Heismann, Steven K. Korotky, and John J. Veselka. Lithium niobate integrated optics: selected contemporary devices and system applications. In Ivan P. Kaminow and Thomas L. Koch, editors, *Optical Fiber Telecommunications* ***IIIB,*** pages 377-462. Academic Press, San Diego, 1997.
[56] FSAN. Full service access network. h t t p : / /www. f **sanweb** . org.
[57] G. E. Stillman and C. M. Wolfe, in *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 12, R. K. Willardson and A. C. Beer, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1977, pp. 291–393.
[58] Gerd Keiser , Optical Fiber Communication, 4th Ed., MGH, 2008. John M. Senior , Optical Fiber Communications, Pearson Education. 3rd Impression, 2007.
[59] G. G.Mekonnen, W. Schlaak, H. G. Bach, R. Steingruber, A. Seeger, T. Enger,W. Passenberg,
[60] G. J. Brown, Ed., *Photodetectors Materials & Devices III,* SPIE

Press, Bellingham, WA, 1998.
[61] G. P. Agrawal and T. M. Shen, *Electron. Lett.* 22, 450 (1986).
Gerd Keiser, Optical Fiber Communication, McGraw-hill, third edition 2000.
[62] Govind **P.** Agrawal. *Fiber-optic Communication Systems.* John Wiley & Sons, New York, 2nd edition, 1997.
[63] Govind P. Agrawal , Fiber-Optic Communication Systems. John Wiley & Sons, New York, Third Edition (2002)
[64] Govind P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics and its Applications in Optical Signal Processing, Institute of Optics University of Rochester Rochester,2007.
[65] H. Bulow, F. Buchali, W. Baumert, R. Ballentin, and T. Wehren. PMD mitigation at **1** OGb/s using linear and nonlinear integrated electronic equaliser circuits. ***Electronics Letters,*** 36(2): 163-164, January 2000.
[66] H. Hayashi, H. Yano, K. Aga, M. Murata, H. Kamei, and G. Sasaki, *IEE Proc.* 138, Pt. J, 164 (1991).
[67] H. Ito, T. Furuta, S. Kodama, and T. Ishibashi, *Electron. Lett.* 36, 1809 (2000).
[68] H. Kamitsuna, *J. Lightwave Technol.* 13, 2301 (1995).
[69] H. Melchior, in *Laser Handbook*, Vol. 1, F. T. Arecchi and E. O. Schulz-Dubois, Eds., North-Holland, Amsterdam, 1972, pp. 725–835.
[70] H. Nyquist, *Phys. Rev.* 32, 110 (1928).
[71] H. Yano, G. Sasaki, N. Nishiyama, M. Murata, and H. Hayashi, *IEEE Trans. Electron. Dev.* 39, 2254 (1992).
[72] H. Yano, K. Aga, H. Kamei, G. Sasaki, and H. Hayashi, *J. Lightwave Technol.* 8, 1328 (1990).
[73] Haideh Khorramabadi, Liang D. Tzeng, and Maurice J. Tarsia. A 1.06Gb/s, -3 ldBm to OdBm BiCMOS optical preamplifier featuring adaptive transimpedance. In ***ISSCC** Dig. Tech. Papers,* pages *54-55,* February 1995.
[74] Handerek, V. A., A. J. Rogers, and I. Cokgor, ‘‘Detection of Localized Polarization Mode Coupling in Polarization-maintaining Fibers,’’ *Proc. of the 8th International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS 8),* Monterey, CA, 1992, pp. 250–253.
[75] Harry J. R. Dutton, Understanding Optical Communications, International Technical Support Organization, September 1998.
[76] Helen **H.** Kim, ***S .*** Chandrasekhar, Charles **A.** Burrus, and Jon Bauman. A Si BiCMOS transimpedance amplifier for 1 OGb/s SONET receiver. *IEEE **J.** Solid- State Circuits,* SC-36(5):769-776, May 2001.

[77] Helen Kim and Jonathan Bauman. **A** 12GHz, 30dB modular BiCMOS limiting amplifier for **1** OGb/s SONET receiver. In *ISSCC Dig. Tech. Papers*, pages 160- 16 1, February 2000.
[78] Hendrik W. Bode. ***Network Analysis and Feedback AmpliJier Design.*** D. Van Nostrand Company, New York, 1945.
[79] Henry A. Blauvelt, Israel Ury, David B. Huff, and Howard L. Loboda. Broadband optical receiver with passive tuning network. U.S. Patent No 5,179,461, January 1993.
[80] Henry A. Blauvelt. Predistorter for linearization of electronic and optical signals. U.S. Patent No 5,252,930, October 1993.
[81] Herwig Kogelnik, Robert M. Jopson, and Lynn E. Nelson. Polarization-mode dispersion. In Ivan P. Kaminow and Tingye Li, editors, *Optical Fiber Telecommunications IVB*, pages 725-861. Academic Press, San Diego, 2002.
[82] Hill, K. O., et al., ‘‘Photo-Sensitivity in Optical-Fiber Waveguides,’’ *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 31, pp. 647–652.
[83] Huang, S. Y., J. N. Blake, and B. Y. Kim, ‘‘Perturbation Effects in Mode Propagation in Highly Elliptical Core Two-Mode Fibers,’’ *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 8, No. 23, 1990.
[84] I. Watanabe, M. Tsuji, K. Makita, and K. Taguchi, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 269 (1996).
[85] I. Watanabe, T. Nakata, M. Tsuji, K. Makita, T. Torikai, and K. Taguchi, *J. Lightwave Technol.* 18, 2200 (2000).
[86] I.-H. Tan, C.-K. Sun, K. S. Giboney, J. E. Bowers E. L. Hu, B. I. Miller, and R. J. Kapik, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 7, 1477 (1995).
[87] I.-H. Tan, J. Dudley, D. I. Babi´c, D. A. Cohen, B. D. Young, E. L. Hu, J. E. Bowers, B. I. Miller, U. Koren, and M. G. Young, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 6, 811 (1994).
[88] I.Watanabe, S. Sugou, H. Ishikawa, T. Anan, K. Makita, M. Tsuji, and K. Taguchi, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 5, 675 (1993).
[89] IEEE. Ethernet in the first mile, task force IEEE 802.3ah, 2001. http://www.ieee802.org/3/efm/.
[90] ITU-T. Broadband optical access systems based on passive optical networks (PON), recommendation G.983.1. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, October 1998.
[91] ITU-T. Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cables, recommendation G.958. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, November 1994.
[92] ITU-T. Forward error correction for submarine systems, recommendation G.975. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, October 2000.

[93] Ivan P. Kaminow and Thomas L. Koch. *Optical Fiber Telecommunications IIIA.* Academic Press, San Diego, 1997.
[94] Ivan P. Kaminow and Thomas L. Koch. *Optical Fiber Telecommunications IIIB.* Academic Press, San Diego, 1997.
[95] Ivan P. Kaminow and Tingye Li. *Optical Fiber Telecommunications IVA: Components.* Academic Press, San Diego, 2002.
[96] Ivan P. Kaminow and Tingye Li. *Optical Fiber Telecommunications IVB: Systems and Impairments.* Academic Press, San Diego, 2002.
[97] J. B. D. Soole and H. Schumacher, *IEEE J. Quantum Electron.* 27, 737 (1991).
[98] J. B. Johnson, *Phys. Rev.* 32, 97 (1928).
[99] J. B. Stark, P. P. Mitra, and A. Sengupta, *Opt. Fiber Technol*. 7, 275 (2001).
[100] J. Burm, K. I. Litvin, D. W. Woodard, W. J. Schaff, P. Mandeville, M. A. Jaspan, M. M. Gitin, and L. F. Eastman, *IEEE J. Quantum Electron.* 31, 1504 (1995).
[101] J. C. Campbell, A. G. Dentai, W. S. Holden, and B. L. Kasper, *Electron. Lett.* 19, 818 (1983).
[102] J. H. Kim, H. T. Griem, R. A. Friedman, E. Y. Chan, and S. Roy, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 4, 1241 (1992).
[103] J. J. O'Reilly, J. R. F. DaRocha, and K. Schumacher, *IEE Proc.* 132, Pt. J, 309 (1985).
[104] J. Tang, *J. Lightwave Technol.* 19, 1104 (2001).
[105] J. W. Shi, K. G. Gan, Y. J. Chiu, Y. H. Chen, C. K. Sun, Y. J. Yang, and J. E. Bowers, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 16, 623 (2001).
[106] J. Yamada, A. Kawana, T. Miya, H. Nagai, and T. Kimura, *IEEE J. Quantum Electron.* 18, 1537 (1982).
[107] J. Yu, L. E. Tarof, R. Bruce, D. G. Knight, K. Visvanatha, and T. Baird, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 6, 632 (1994).
[108] J.-C. Bouteiller, *Electron. Lett.* **39,** pp. 1511–1512 (2003).
[109] J.-C. Bouteiller, K. Brar, S. Radic, J. Bromage, Z. Wang, and C. Headley, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (2002), postdeadline paper FB3.
[110] Jeff Hecht. ***City** oflight: The Story of Fiber Optics.* Oxford University Press, New York, 1999.

[111] John D. Kraus. *Antennas.* McGraw Hill, New York, 2nd edition, 1988.
[112] John M. Senior assisted by M. Yousif Jamro, Optical Fiber Communications Principles and Practice, Third edition published 2009.
[113] John R. Long and Miles **A.** Copeland. The modeling,

characterization, and design of monolithic inductors for silicon RF IC's. *IEEE J. Solid-state Circuits,* SC-32(3):357-369, March 1997.

[114] K. A. Anselm, H. Nie, C. Lenox, P. Yuan, G. Kinsey, J. C. Campbell, B. G. Streetman, *IEEE J. Quantum Electron.* 34, 482 (1998).

[115] K. Emura, *Solid-State Electron.* 43, 1613 (1999).

[116] K. Fukuchi, T. Kasamatsu, M. Morie, R. Ohhira, T. Ito, K. Sekiya, D. Ogasahara, and T. Ono, Paper PD24, *Proc. Optical Fiber Commun. Conf.*, Optical Society of America, Washington, DC, 2001.

[117] K. Kato and Y. Akatsu, *Opt. Quantum Electron.* 28, 557 (1996).

[118] K. Kato, A. Kozen, Y. Muramoto, Y. Itaya, N. Nagatsuma, and M. Yaita, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 6, 719 (1994).

[119] K. Kato, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 47, 1265 (1999).

[120] K. Kato, S. Hata, K. Kwano, J. Yoshida, and A. Kozen, *IEEE J. Quantum Electron.* 28, 2728 (1992).

[121] K. Kishino, S. U¨ nlu¨, J. I. Chyi, J. Reed, L. Arsenault, and H. Morkoc¸, *IEEE J. Quantum Electron.* 27, 2025 (1991).

[122] K. Kobayashi, in *Optical Fiber Telecommunications II*, S. E. Miller and I. P. Kaminow, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1988, Chap. 11.

[123] K. Matsuda, M. Kubo, K. Ohnaka, and J. Shibata, *IEEE Trans. Electron. Dev.* 35, 1284 (1988).

[124] K. Rottwitt and H. D. Kidorf, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (1998), paper PD6.

[125] K. Rottwitt, A. Stentz, T. Nielsen, P. Hansen, K. Feder, and K.Walker, *Proc. Eur. Conf. Optical Communication* (1999), p. II-144.

[126] K. S. Giboney, R. L. Nagarajan, T. E. Reynolds, S. T. Allen, R. P. Mirin, M. J. W. Rodwell, and J. E. Bowers, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 7, 412 (1995).

[127] K. Schumacher and J. J. O'Reilly, *Electron. Lett.* 23, 718 (1987).

[128] K. Takahata, Y. Muramoto, H. Fukano, K. Kato, A. Kozen, O. Nakajima, and Y. Matsuoka, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 10, 1150 (1998).

[129] K. Takahata, Y. Muramoto, H. Fukano, K. Kato, A. Kozen, S. Kimura, Y. Imai, Y. Miyamoto, O. Nakajima, and Y. Matsuoka, *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.* 6, 31 (2000).

[130] Kamran Azadet, Erich F. Haratsch, Helen Kim, Fadi Saibi, Jeffrey H. Saunders, Michael Shaffer, Leilei Song, and Meng-Lin Yu. Equalization and FEC techniques for optical transceivers. ***IEEE J. Solid-state Circuits,*** SC-37(3):317-327, March 2002.

[131] Klaas Bult and Govert Geelen. **A** fast-settling CMOS op amp with

90dB dcgain and 116MHz unity-gain frequency. In ***ISSCC Dig. Tech. Papers,*** pages 108-109, February 1990.

[132] L. E. Tarof, *Electron. Lett.* 27, 34 (1991).

[133] L. E. Tarof, J. Yu, R. Bruce, D. G. Knight, T. Baird, and B.Oosterbrink, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 5, 672 (1993).

[134] L. Labrunie, F. Boubal, E. Brandon, L. Buet, N. Darbois, D. Dufournet, V. Havard, P. Le Roux, M. Mesic, L. Piriou, A. Tran, and J.-P. Blondel, *Proc. Optical Amplifiers and Their Applications* (2001), paper PD3-1.

[135] L. M. Lunardi, S. Chandrasekhar, C. A. Burrus, and R. A. Hamm, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 7, 1201 (1995).

[136] L. Mandel and E. Wolf, *Optical Coherence and Quantum Optics*, Cambride University Press, New York, 1995.

[137] Lawrence E. Larson, Chia-Shing Chou, and Michael J. Delaney. An ultrahighspeed GaAs MESFET operational amplifier. *IEEE **J.** Solid-state Circuits*, SC- 24 (6): 1523-1 528, December 1989.

[138] Lindor Henrickson, David Shen, Uno Nellore, Alan Ellis, Joong Oh, Hui Wang, Giovanni Capriglione, Ah Atesoglu, Alice Yang, Peter Wu, Syed Quadri, and David Crosbie. Low-power fully integrated lO-Gb/s SONETISDH transceiver in **0.13-pm CMOS. *ZEEE J.*** *Solid-State Circuits*, SC-38(10): 1595-1601, October 2003.

[139] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Eds., *Handbook of Mathematical Functions*, Dover, New York, 1970.

[140] M. Bitter, R. Bauknecht, W. Hunziker, and H. Melchior, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 12, 74 (2000).

[141] M. C. Brain, P. P. Smyth, D. R. Smith, B. R. White, and P. J. Chidgey, *Electron. Lett.* 20, 894 (1984).

[142] M. C. Hargis, S. E. Ralph, J. Woodall, D. McInturff, A. J. Negri, and P. O. Haugsjaa, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 110 (1996).

[143] M. D. Mermelstein, C. Headley, J.-C. Bouteiller, P. Steinvurzel, C. Horn, K. Fedder, and B. J. Eggleton, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (2001), paper PD3-1.

[144] M. D. Mermelstein, C. Headley, J.-C. Bouteiller, P. Steinvurzel, K. Feder, and B. J. Eggleton, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **13,** 1286 (2001).

[145] M. D. Mermelstein, C. Horn, J.-C. Bouteiller, P. Steinvurzel, K. Feder, C. Headley, and B. J. Eggleton, *Proc. Conference on Lasers and Electro- Optics* (2002), paper CThJ1.

[146] M. D. Mermelstein, C. Horn, S. Radic, and C. Headley, *Electron. Lett.* **38,** 636 (2002).

[147] M. D. Mermelstein, C. Horn, Z. Huang, P. Steinvurzel, K. Feder, M. Luvalle, J.-C. Bouteiller, C. Headley, and B. J. Eggleton, *Proc.*

Optical Fiber Communication Conf. (2002), paper TuJ2-1.
[148] M. J. Bennett. Dispersion characteristics of monomode optical-fiber systems. ***IEE Proceedings, Pt.*** *H* , 130(5):309-3 14, August 1983.
[149] M. J. Digonnet, Ed., *Optical Devices for Fiber Communication*, SPIE Press, Bellingham, WA, 1999.
[150] M. Kawi, H. Watanabe, T. Ohtsuka, and K. Yamaguchi. Smart optical receiver with automatic decision threshold setting and retiming phase alignment. *IEEE J. Lighmave Technology,* LT-7(11): 1634-1640, November 1989.
[151] M. Krause, S. Cierullies, and H. Renner, *Opt. Commun.* **227,** 355 (2003).
[152] M. L. Snodgrass and R. Klinman, *J. Lightwave Technol.* 2, 968 (1984).
[153] M. Makiuchi, H. Hamaguchi, T. Kumai, O. Aoki, Y. Oikawa, and O. Wada, *Electron. Lett.* 24, 995 (1988).
[154] M. Prabhu, N. S. Kim, L. Jianren, and K. Ueda, *Opt. Commun.* **182,** 305 (2000).
[155] M. Yoneyama, E. Sano, S. Yamahata, and Y. Matsuoka, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 272 (1996).
[156] Manfred Lang, Zhi-Gong Wang, 2:hihao Lao, Michael Schlechtweg, Andreas Thiede, Michaela Rieger-Motzer, Martin Sedler, Wolfgang Bronner, Gudrun Kaufel, Klaus Kohler, Axel Hiilsmann, and Brian Raynor. 20-40Gb/s, 0.2-~m GaAs HEMT chip set for optical data receiver. *IEEE J. Solid-state Circuits,* SC-32(9): 1384-1393, September 1997.
[157] Mark Ingels, Geert Van der Plas, Jan Crols, and Michel Steyaert. A CMOS 18THzQ 240Mb/s transimpedance amplifier and 155Mb/s LED-driver for low cost optical fiber links. *IEEE* J. *Solid-State Circuits,* SC-29(12): 1552-1559, December 1994.
[158] Max Ming-Kang Liu. *Principles and Applications of Optical Communications.* Irwin, McGraw-Hill, Chicago, 19961.
[159] Meltz, G., W. W. Morey, and W. H. Glen, ‘‘Formation of Bragg Gratings in Optical Fibers by a Transverse Holographic Method,’’ *Opt. Lett*., Vol. 14, 1984, pp. 823–825.
[160] Michael Green. Broadband data signals and circuits, April 2002. Lecture Notes, MEAD Microelectronics.
[161] M. Karlsson, Fiber Optic Communications, Quarter IV, March-May 2004.
[162] Morey, W. W., J. R. Dunphy, and G. Meltz, ‘‘Multiplexing Fiber Grating Sensors,’’ *SPIE Proceedings*, Vol. 1586, 1984, 1991, pp. 216–224.
[163] N. Shimizu, K. Murata, A. Hirano, Y. Miyamoto, H. Kitabayashi, Y.

Umeda, T. Akeyoshi, T. Furuta, and N. Watanabe, *Electron. Lett.* 36, 1220 (2000).
[164] Nicolas Kauffmann, Sylvain Blayac, Miloud Abboun, Philippe Andre, FredCric Aniel, Muriel Riet, Jean-Louis Benchimol, Jean Godin, and Agnieszka Konczykowska. InP HBT driver circuit optimization for high-speed ETDM transmission. *IEEE J. Solid-State Circuits*, SC-36(4):639-647, April 2001.
[165] Noboru Ishihara, Makoto Nakamura, Yukio Akazawe, Naoto Uchida, and Yhuji Akahori. 3.3V, 5OMbJs CMOS transceiver for optical burst-mode communication. In *ISSCC Dig. Tech. Papers,* pages 244 245, 1997.
[166] O. Vendier, N. M. Jokerst, and R. P. Leavitt, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 266 (1996).
[167] O.Wad a, H. Hamaguchi, M. Makiuchi, T. Kumai, M. Ito, K. Nakai, T. Horimatsu, and T.Sakurai, *J. Lightwave Technol.* 4, 1694 (1986).
[168] P. B. Hansen, L. Eskildsen, S.G. Grubb, A. J. Stentz, T.A. Strasser, J. Judkins, J. J. DeMarco, R. Pedrazzani, and D. J. DiGiovanni, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **9,** 262 (1997).
[169] P. Balaban, *Bell Syst. Tech. J.* 55, 745 (1976).
[170] P. Fay, W. Wohlmuth, C. Caneau, and I. Adesida, *Electron. Lett.* 31, 755 (1995).
[171] P. I. Kuindersma, M. W. Snikkers, **GI.** P. J. M. Cuypers, J. J. M. Binsma, E. Jansen, **A.** van Geelen, and T. van Dongen. Universality of the chirp-parameter of bulk active electro absorption modulators. European Conference on Optical Communication (ECOC), Madrid, Spain, 1998.
[172] P. Le Roux, F. Boubal, E. Brandon, L. Buet, N. Darbois, V. Havard, L. Labrunie, L. Piriou, A. Tran, and J.-P. Blondel, *Proc. Eur. Conf. Optical Communication* (2001), paper PD.M. 1.5.
[173] P. P. Mitra and J. B. Stark, *Nature* 411, 1027 (2001).
[174] P. P. Webb, R. J. McIntyre, and J. Conradi, *RCA Rev.* 35, 235 (1974).
[175] Paul R. Gray and Robert G. Meyer. *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits.* John Wiley & Sons, New York, 1977.
[176] Paul S. Henry, R. A. Linke, and A. H. Gnauck. Introduction to lightwave systems. In Stewart E. Miller and Ivan P. Kaminow, editors, *Optical Fiber Telecommunications 11*, pages 781-831. Academic Press, San Diego, 1988.
[177] Phillip E. Allen and Douglas R. Holberg. *CMOSAnalog Circuit Design.* Holt,Rinehart and Winston, New York., 1987.
[178] R. G. Smith and S. D. Personick, in *Semiconductor Devices for Optical Communications*, H. Kressel, Ed., Springer, New York,

1980.
[179] R. G. Swartz, in *Optical Fiber Telecommunications II*, S. E. Miller and I. P. Kaminow, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1988, Chap. 20.
[180] R. J. Keyes, *Optical and Infrared Detectors*, Springer, New York, 1997.
[181] R. J. McIntyre, *IEEE Trans. Electron. Dev.* 13, 164 (1966); 19, 703 (1972).
[182] R. S. Tucker, A. J. Taylor, C. A. Burrus, G. Eisenstein, and J. M. Westfield, *Electron. Lett.* 22, 917 (1986).
[183] R.-H. Yuang, J.-I. Chyi, Y.-J. Chan, W. Lin, and Y.-K. Tu, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 7, 1333 (1995).
[184] Renuka P. Jindal. Gigahertz-band high-gain low-noise AGC amplifiers in fineline NMOS. *IEEE J. Solid-State Circuits*, SC-22(4):512-521, August 1987.
[185] Renuka P. Jindal. Silicon MOS amplifier operation in the integrate and dump mode for gigahertz band lightwave communication systems. *IEEE J. Lightwave Technology*, LT-8(7):1023-1026, July 1990.
[186] Richard D. Gitlin, Jeremiah F. Hayes, and Stephen B. Weinstein. *Data Communications Principles.* Plenum Press, New York, 1992.
[187] Rogers, A. J., and V. A. Handerek, ‘‘Static and Dynamic Fiber Polarization Grating
[188] S. B. Alexander, *Optical Communication Receiver Design*, Vol. TT22, SPIE Press, Bellingham, WA, 1995.
[189] S. B. Paperny, V. I. Karpov, and W. R. L. Clements, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (2002), paper FB4-1.
[190] S. Bedö,W. Lüthy, and H. P.Weber, *Opt. Commun.* **99,** 331 (1993). H. M. Pask, R. J. Carme, D. C. Hanna, A. C. Tropper, C. J. Mackechine, P. R. Barber, and J. M. Dawes, *IEEE J. Selected Topics Quantum Electron.* **1,** 2 (1995).
[191] S. Chandrasekhar, L. M. Lunardi, A. H. Gnauck, R. A. Hamm, and G. J. Qua, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 5, 1316 (1993).
[192] S. D. Personick, *Bell Syst. Tech. J.* 52, 843 (1973); 52, 875 (1973).
[193] S. D. Walker and L. C. Blank, *Electron. Lett.* 20, 808 (1984).
[194] S. Hanatani, H. Nakamura, S. Tanaka, T. Ido, and C. Notsu, *Microwave Opt. Tech. Lett.* 7, 103 (1994).
[195] S. O. Kasap, Optoelectronics and photonics principle and practice Pearson Education, 2001.
[196] S. R. Forrest, in *Optical Fiber Telecommunications II*, S. E. Miller and I. P. Kaminow, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1988, Chap. 14.

[197] Sanjay Kasturia and Jack H. Winters. Techniques for high-speed implementation of nonlinear cancellation. *IEEE* **J.** *Select. Areas Commun.*, SAC-9(5):7 1 1- 717, June 1991.
[198] See, for example, Alfalight, Boston Lasr Inc., IRE-Polus Group, JDSU, LaserTel, SLI, Unique-mode, Thales, Apollo Products List.
[199] Sherif Galal and Behzad Razavi. Broadband ESD protection circuits in CMOS technology. *IEEE J. Solid-state Circuits,* SC-38(12):2334 2340, December 2003.
[200] Sherif Galal and Behzad Razavi. lO-Gb/s limiting amplifier and laser/modulator driver in 0.18-pm CMOS technollogy. *IEEE J. Solid State Circuits,* **SC-** 38(12):2138-2146, December 2003.
[201] Simon Haykin. *Communication Systems.* John Wiley & Sons, New York, 4thm edition, **2001.**
[202] Simona Brigati, Paolo Colombara, Lucio D'Ascoli, Umberto Gatti, Tibor Kerekes, and Piero Malcovati. **A** SiGe BiCMOS burst-mode 155-Mb/s receiver **for** PON. ***IEEE*** *J.* ***Solid-state Circuits,*** SC 37(7):887-894, July 2002.
[203] SM Olaizola. attenuation and dispersion, chapter 4,p 1-44 (2004). Area Tcss, Fiber Optic Communications Systems, DISTRIBUTION STATEMENT A. Approved for public release; distribution is unlimited, 1994.
[204] Stephen B. Alexander. *Optical Communication Receiver Design.* SPIE Press. copublished with EE, Bellingham, Washington, 1997.
[205] T. Horimatsu and M. Sasaki, *J. Lightwave Technol.* 7, 1612 (1989).
[206] T. Kagawa, Y. Kawamura, and H. Iwamura, *IEEE J. Quantum Electron.* 28, 1419 (1992); *IEEE J. Quantum Electron.* 29, 1387 (1993).
[207] T. M. Shen, *Electron. Lett.* 22, 1043 (1986).
[208] T. Nakata, I. Watanabe, K. Makita, and T. Torikai, *Electron. Lett.* 36, 1807 (2000).
[209] T. Nakata, T. Takeuchi, I. Watanabe, K. Makita, and T. Torikai, *Electron. Lett.* 36, 2033 (2000).
[210] T. Ohyama, S. Mino, Y. Akahori, M. Yanagisawa, T. Hashimoto, Y. Yamada, Y. Muramoto, and T. Tsunetsugu, *Electron. Lett.* 32, 845 (1996).
[201] T. P. Lee and T. Li, in *Optical Fiber Telecommunications I*, S. E. Miller and A. G. Chynoweth, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1979, Chap. 18.
[211] T. P. Lee, C. A. Burrus, A. G. Dentai, and K. Ogawa, *Electron. Lett.* 16, 155 (1980).
[212] T. Takeuchi, T. Nakata, K. Fukuchi, K. Makita, and K. Taguchi, *IEICE Trans. Electron.* E82C, 1502 (1999).

[213] Takanori Iwai, Kenji Sato, and KO-ichi Suto. Signal distortion and noise in AM-SCM transmission systems employing the feedforward linearized MQWEA external modulator. *IEEE J. Lightwave Technology*, LT-13(8): 1606-1612, August 1995.

[214] Th.Weber,W. Lüthy, and H. P.Weber, *Appl. Phys. B* **63,** 131 (1996). [206] Th.Weber,W. Lüthy, H. P.Weber,V. Neuman, H. Berthou, andG. Kotrotsios, *Opt. Commun.* **115,** 99 (1995).

[215] Thomas H. Lee. *The Design of **CA4OS** Radio-Frequency Integrated Circuits.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1998.

[216] Thomas L. Koch. Laser sources for amplified and WDM lightwave systems. In Ivan P. Kaminow and Thomas L. Koch, editors. *Optical Fiber Telecommunications **IIIB,*** pages 115-1 62. Academic Press, San Diego, 1997.

[217] Timothy H. Hu and Paul R. Gray. **A** monolithic 480Mb/s parallel AGC/decision/clock-recovery circuit in 1.2-wm CMOS. *IEEE J. Solid-State Circuits*, SC-28(12):1314-1320, December 1993.

[218] Titsuo Fukuda, Optical semiconductor devices, Wiley series in microwave and optical engineering, Wiley interscience, 1999.

[219] Toru Masuda, Ken-ichi Ohhata, Fumihiko Arakawa, Nobuhiro Shiramizu, Eiji Ohue, Katsuya Oda, Reiko Hayami, Masamitchi Tanabe, Hiromi Shimamoto, Masao Kondo, Takashi Harada, and Katsuyoshi Washio. 45GHz

[220] Ulrich Killat, editor. *Access to B-ISDN via PONS: ATM Communication in Practice.* John Wiley and B. 0. Teubner, Chichester, England, 1996.

[221] V. Dominic, A. Mathur, and M. Ziari, *Proc. Optical Amplifiers and Their Applications* (2001), paper OMC6.

[222] V. I. Karpov, E. M. Dianov, A. S. Kurkov,V. M. Paramonov,V. N. Protopopov, M. P. Bachynski, andW. R. L. Clements, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (1999), paper WM3, p. 202.

[223] V. I. Karpov, E. M. Dianov, V. M. Paramonov, O. I. Medvedkov, M. M. Bubnov, S. L. Semyonov, S. A. Vasiliev, V. N. Protopopov, O. N. Egorova, V. F. Hopin, A. N. Guryanov, M. P. Bachynski, and W. R. L. Clements, *Opt. Lett.* **24,** 887 (1999).

[224] W. A. Wohlmuth, P. Fay, C. Caneau, and I. Adesida, *Electron. Lett.* 32, 249 (1996).

[225] W. P. Hong, G. K. Chang, R. Bhat, C. K. Nguyen, and M. Koza, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 3, 156 (1991).

[226] W. R. Bennett, *Electrical Noise*, McGraw-Hill, New York, 1960.

[227] Walter Ciciora, James Farmer, and David Large. *Modem Cable Television Technology: Video, Voice, and Data Communications.* Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.

[228] Xiang Liu et al., Efficient digital coherent detection of a 1.2-Tb/s 24-carrier no-guardinterval CO-OFDM signal by simultaneously detecting multiple carriers per sampling, in: OFC 2010, paper OWO2.
[229] X. Normandin, F. Leplingard, E. Bourova, C. Leclère, T. Lopez, J.-J. Guérin, D. Bayart, *Proc. Optical Fiber Communication Conf.* (2002), paper TuB2-1.
[230] Y. Akatsu, M. Miyugawa, Y. Miyamoto, Y. Kobayashi, and Y. Akahori, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 5, 163 (1993).
[231] Y. Baeyens, **R.** Pullela, J. P. Mattia, H.-S. Tsai, andY.-K. Chen. A74 GHz bandwidth InAIAslInGaAs-InP HBT distributed amplifier with 13-dB gain. ***IEEE Microwave Guided Wave Lett.,*** 9(11):461463, November 1999.
[232] Y. G. Zhang, A. Z. Li, and J. X. Chen, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 8, 830 (1996).
[233] Y. H. Lo, P. Grabbe, **M.** Z. Iqbal, **R.** Bhat, J. L. Gimlett, J. C. Young, P. S. D. Lin, A. S. Gozdz, M. A. Koza. and T. P. Lee. Multigigabith 1.5 pm hl4-shifted DFB OEIC transmitter and its use in transmission experiments. *IEEE Photonics Technology Letters,* 2(9):673-674, September 1990.
[234] Y. Kobayashi, Y. Akatsu, K. Nakagawa, H. Kikuchi, and Y. Imai, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 43, 1916 (1995).
[235] Y. Oikawa, H. Kuwatsuka, T. Yamamoto, T. Ihara, H. Hamano, and T. Minami, *J. Lightwave Technol.* 12, 343 (1994).
[236] Y.-G. Wey, K. S. Giboney, J. E. Bowers, M. J. Rodwell, P. Silvestre, P. Thiagarajan, and G. Robinson, *J. Lightwave Technol.* 13, 1490 (1995).
[237] Yariv, A., and P. Yeh, *Optical Waves in Crystals*, New York: John Wiley & Sons, Chapter 6, p. 155.
[238] Yuriy M. Greshishchev and Peter Schvan. A 60-dB gain, 55-dB dynamic range, IO-Gb/s broad-band SiGe HBT limiting amplifier. *IEEE **J.** Solid-state Circuits*, SC-34(12):1914-1920, December 1999.
[239] Yuriy M. Greshishchev, Peter Schvan, Jonathan L. Showell, Mu Liang Xu, Jugnu J. Ojha, and Jonathan E. Rogers. A fully integrated SiGe receiver IC for 10Gb/s data rate. In *ISSCC Dig. Tech. Papers,* pages 52-53, February 2000.
[240] Yuriy M. Greshishchev. Front-end circuits for optical communications, February 2001. ISSCC'2001 Tutorial.
[241] Zhihao Lao, Andreas Thiede, Ulrich Nowotny, Hariolf Lienhart, Volker Hum, Michael Schlechtweg, Jochen Hornung, Wolfgang Bronner, Klaus Kohler, Alex Hulsmann, Brian Raynor, and Theo Jakobus. 40-Gbk high-power modulator driver IC for lightwave

communication systems. *IEEE J. Solid-state Circuits*, SC-33(10): 1520-1526, October 1998.

[242] Zhihao Lao, Manfred Berroth, Volker Hurm, Andreas Thiede, Roland Bosch, Peter Hofman, Alex Hulsmann, Canute Moglestue, and Klaus Kohler. 25Gb/s AGC amplifier, 22GHz transimpedance amplifier and 27.7GHz limiting amplifier ICs using AlGaAdGaAs-HEMTs. In *ISSCC Dig. Tech. Papers*, pages 356-357, February 1997.



Basic Principles of Optical Fibers

Dr. Ahmed Naji Al-Jamal